

木材乾燥操作に関する基礎的研究（第Ⅲ報） 木材人工乾燥における乾燥時間の 推定図表について

寺 沢 真⁽¹⁾
小 玉 牧 夫⁽²⁾

I 緒 言

未経験な材料を乾燥する場合にその乾燥日数の概略がつかめておれば操作上きわめてころづよいものである。また、乾燥室を設計する場合には被乾燥材の乾燥日数が掌握できないと乾燥室の大きさの決定や熱量計算が不可能となる。その他依託乾燥、工場経営、作業計画等あらゆる面で被乾燥材についての乾燥日数の掌握が必要とされる。従来、被乾燥材についての乾燥日数を決定するには各人の経験あるいは発表資料、または現実に乾燥をおこなっている工場に問い合わせその結果より各人各様の判断により補足修正して目的の数値を作成していた。

このような方法でも一応の目安はつくが、乾燥日数に関する既存の発表資料は比較的少なく¹⁾、あらゆる樹種、板厚および初期含水率について必要とする資料を迅速に得ることも不可能に近く、したがってかなり目的から遠い資料を参考として用いる場合が多く個人差の生ずる割合も多かつた。

こうして不便つづきを解決するためにわれわれは日本産主要樹種について先に林業試験場研究報告第81²⁾、93³⁾で発表した方法により乾燥所要時間を求め、これを実際の現場資料と比較検討しその有効範囲内で図表化してみたので、参考資料として多少の便宜は得られるものと考え発表する次第である。

なお、この実験をおこなっていくにあたり終始御援助賜わった齋藤場長、小倉木材部長ならびに黒田前加工科長、また供試材作成に御尽力いただいた材料科組織研究室長小林技官に対し、また徹夜実験に御協力いただいた乾燥研究室員筒本技官、佐藤技官に対しここに深く謝意を表す次第である。

II 試験方法の概略

わが国の主要樹種に対し床板原板を基準寸度として一定空気条件下で乾燥をおこない特定の含水率における乾燥速度（%/h）を求め、その数値から次式を用いて乾燥時間を算出した。

$$u - u_e = (u_0 - u_e)e^{-kt}$$

$$t = \frac{1}{k} \log \frac{u_0 - u_e}{u - u_e} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{du}{dt} = k(u - u_e) \dots\dots\dots (2)$$

u_0 : 初期含水率 u_e : 平衡含水率 u : 求める含水率 t : 乾燥時間

(1) 木材部加工科乾燥研究室長 (2) 木材部加工科乾燥研究室員

Table 1. 乾燥速度試験に使用した樹種および寸度

樹種および木取 Specimen	寸 法 Size (mm)			年輪巾 Annual ring width (mm)	気乾比重 Specific gravity on air drying (g/cm ³)	産 地 Locality
	長 さ Length	巾 Width	厚 さ Thickness			
トドマツ心材, 追証 TODOMATSU Heart Wood <i>Abies scahalinesis</i> MASTERS var. <i>Mayriana</i> MIYABE et KUDO	299.5 297.0	110.5 110.5	21.0 21.0	3.0	0.38 0.39	北 海 道 野 幌
モミ心材, 追証 MOMI Heart Wood <i>Abies firma</i> SIEB. et ZUCC.	299.0 302.0	109.5 110.0	22.0 21.5	3.3	0.41 0.41	八王子市 浅 川
アオモリトドマツ心材, 追証 AOMORITODOMATSU Heart Wood <i>Abies Mariesii</i> MASTERS	301.5 300.0	110.0 109.5	22.0 22.5	3.0	0.43 0.44	前 橋 営 局 管 内
ネズコ心材, 追証 NEZUKO Heart Wood <i>Thuja Standishii</i> CARR.	297.0 301.0	107.5 107.0	21.0 21.0	1.2	0.35 0.34	木 曾
エゾマツ心材, 追証 EZOMATSU Heart Wood <i>Picea jezoensis</i> CARR.	296.0 298.0	110.0 110.0	22.5 23.0	1.0	0.44 0.45	北 海 道 定 山 溪
エゾマツ心材, 板目 EZOMATSU Heart Wood <i>Picea jezoensis</i> CARR.	607.0	112.0	23.0	1.8	0.38	北 海 道 陸 別
イラモミ心材, 追証 IRAMOMI Heart Wood <i>Picea bicolor</i> MAYR	301.5 301.5	105.0 106.0	21.5 21.0	2.0	0.44 0.45	静 岡 県 水 窪
アカエゾマツ心材, 追証 AKAEZOMATSU Heart Wood <i>Picea Glehnii</i> MASTERS	298.0 298.0	110.0 109.5	22.5 23.0	2.0	0.45 0.46	北 海 道 定 山 溪
トウヒ心材, 追証 TOUHI Heart Wood <i>Picea jezoensis</i> CARR. var. <i>hondoensis</i> REHDER	301.0 300.0	109.5 110.5	22.0 23.0	1.0	0.41 0.41	前 橋 営 局 管 内
ハリモミ心材, 追証 HARIMOMI Heart Wood <i>Picea polita</i> CARR.	298.0 298.5	110.5 110.5	22.5 22.0	1.5	0.45 0.43	秩 父
ヒメコマツ心材, 追証 HIMEKOMATSU Heart Wood <i>Pinus parviflora</i> SIEB. et ZUCC.	295.0 298.0	108.0 107.5	21.5 22.0	3.3	0.48 0.47	野 尻
アカマツ心材, 追証 AKAMATSU Heart Wood <i>Pinus densiflora</i> SIEB. et ZUCC.	298.0 298.0	105.0 106.0	21.0 21.0	3.0	0.56 0.56	水 戸
クロマツ心材, 追証 KUROMATSU Heart Wood <i>Pinus Thunbergii</i> PARL.	305.0 296.5	103.5 104.5	20.5 21.5	2.2	0.54 0.53	"
ツガ心材, 追証 TSUGA Heart Wood <i>Tsuga Sieboldii</i> CARR.	315.5 301.5	110.5 110.5	22.5 22.0	2.0	0.51 0.50	秩 父
コウヤマキ心材, 追証 KOUYAMAKI Heart Wood <i>Sciadopitys verticillata</i> SIEB. et ZUCC.	299.0 295.0	110.0 109.5	21.0 21.0	0.7	0.42 0.43	長 野 県 営 林 局 管 内
ヒノキ心材, 追証 HINOKI Heart Wood <i>Chamaecyparis obtusa</i> SIEB. et ZUCC.	300.0 300.0	109.5 109.0	21.5 21.5	1.0	0.43 0.43	木 曾
サワラ心材, 追証 SAWARA Heart Wood <i>Chamaecyparis pisifera</i> SIEB. et ZUCC.	310.0 303.0	110.0 110.0	21.5 21.5	1.0	0.32 0.34	"
アスナロ心材, 追証 ASUNARO Heart Wood <i>Thujaopsis dolabrata</i> SIEB. et ZUCC.	300.0 301.0	109.5 110.0	21.5 22.0	1.1	0.39 0.39	"
カラマツ心材, 追証 KARAMATSU Heart Wood <i>Larix leptolepis</i> GORDON	302.5 300.5	108.0 107.0	21.5 22.0	2.2	0.47 0.47	"
キリ心材, 追証 KIRI Heart Wood <i>Paulownia tomentosa</i> STEUD	302.0	111.5	18.5	15.0	0.27	林業試験 場 場 内
オオバシナノキ心材, 追証 OOBASHINANOKI Heart Wood <i>Tilia Maximowicziana</i> SHIRASAWA	298.5 301.0	108.5 109.5	21.5 21.5	3.3	0.42 0.44	北 海 道 野 幌
シナノキ心材, 追証 SHINANOKI Heart Wood <i>Tilia japonica</i> SIMONKAI	299.5 299.0	106.5 106.0	19.0 19.0	2.0	0.51 0.51	"

Table 1. (続)

No.	樹種および木取 Specimen	寸 法 Size (mm)			年輪巾 Annual ring Width (mm)	気乾比重 Specific gravity on air drying (g/cm ³)	産 地 Locality
		長 さ Length	巾 厚 さ Width Thickness	巾 厚 さ Width Thickness			
23	ドロノキ心材, 追衤 DORONOKI Heart Wood <i>Populus Maximowiczii</i> HENRY	298.0 299.0	106.0 106.0	21.0 21.0	3.6	0.38 0.37	北海道 北野幌
24	バツコヤナギ心材, 追衤 BAKKOYANAGI Heart Wood <i>Salix Bakko</i> KIMURA	300.0 300.0	110.5 110.5	22.5 22.0	3.0	0.40 0.39	北海道 北白老
25	トチノキ心材, 追衤 TOCHINOKI Heart Wood <i>Aesculus turbinate</i> BLUME	299.5 299.0	104.5 105.0	21.5 21.5	2.0	0.60 0.60	前橋 営林局内
26	センノキ心材, 追衤 SENNOKI Heart Wood <i>Kalopanax septemlobus</i> KOIDZ.	305.0 301.0	103.5 103.0	20.5 21.0	2.0	0.46 0.51	〃
27	サワグルミ心材, 追衤 SAWAGURUMI Heart Wood <i>Pterocarya rhoifolia</i> SIEB. et ZUCC.	300.0 301.0	106.0 106.5	21.5 21.5	2.5	0.48 0.47	〃
28	オニグルミ心材, 追衤 ONIGURUMI Heart Wood <i>Juglaus Sieboldiana</i> MAXIM.	299.0 297.5	104.5 106.5	21.0 21.0	3.0	0.56 0.56	北海道 北白老
29	ホオノキ心材, 追衤 HOONOKI Heart Wood <i>Magnolia obovata</i> THUNBERG	298.0 298.0	110.0 110.5	22.0 22.0	1.3	0.50 0.47	北海道 北野幌
30	シオジ心材, 追衤 SHIOZI Heart Wood <i>Fraxinus commemoralis</i> KOIDZ.	298.0 298.0	106.5 106.5	20.5 21.5	1.0	0.57 0.57	秩父
31	ヤチダモ心材, 追衤 YACHIDAMO Heart Wood <i>Fraxinus mandshurica</i> RUPR. var. <i>japonica</i> MAXIM.	298.0 295.0	104.5 104.5	22.0 21.0	1.0	0.66 0.66	北海道 北野幌
*32	ヤチダモ心材, 板目 YACHIDAMO Heart Wood <i>Fraxinus mandshurica</i> RUPR. var. <i>japonica</i> MAXIM.	607.5	112.0	22.0	2.1	0.56	北海道 北浦河
33	アカダモ心材, 追衤 AKADAMO Heart Wood <i>Ulmus propinqua</i> KOIDZ.	296.5 298.0	104.0 104.5	20.5 20.5	1.3	0.59 0.58	北海道 北野幌
34	カツラ心材, 追衤 KATSURA Heart Wood <i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.	297.0 300.0	110.5 110.5	22.0 22.0	1.0	0.50 0.51	〃
*35	カバ心材, 板目 KABA Heart Wood <i>Betula nikoensis</i> KOIDZ.	605.0	112.0	22.0	3.0	0.64	北海道 北浦河
36	イタヤカエデ心材, 追衤 ITAYAKAEDE Sap Wood <i>Acer Mono</i> MAXIM.	301.0 299.5	83.0 105.0	21.5 21.0	2.5	0.66 0.65	北海道 北野幌
37	イタヤカエデ心材, 追衤 ITAYAKAEDE Heart Wood <i>Acer Mono</i> MAXIM.	300.0	82.0	20.5	2.0	0.69	〃
38	ナラ心材, 追衤 NARA Heart Wood <i>Quercus mongolica</i> FISCHER. var. <i>grosse serrata</i> REHD. et WILS.	298.0	102.0	21.0	1.2	0.77	北海道 北浦河
*39	ナラ心材板目 NARA Heart Wood <i>Quercus mongolica</i> FISCHER. var. <i>grosse serrata</i> REHD. et WILS.	606.0	113.0	20.5	0.9	0.66	木曾
*40	ブナ心材, 板目 BUNA Heart Wood <i>Fagus crenata</i> BLUME	606.0	113.0	22.5	1.3	0.63	〃
*41	ブナ心材, 板目 BUNA Sap Wood <i>Fagus crenata</i> BLUME	606.0	113.0	21.5	1.3	0.65	〃
*42	イヌブナ心材, 板目 INUBUNA Sap Wood <i>Fagus japonica</i> MAXIM.	606.0	113.0	21.0	2.0	0.52	〃
43	クヌギ心材, 追衤 KUNUGI Heart Wood <i>Quercus acutissima</i> CARRUTHERS	298.5	101.0	19.0	0.8	0.86	前橋 営林局内

* 林業試験場研究報告第 81 号²⁾, 第 93 号³⁾ における乾燥特性曲線のデータより引用。

なお、上式の乾燥速度 (%/h) を求めるには乾球温度 60°C、湿球温度 35°C、風速 70 cm/s の条件のもとで乾燥をおこない、比較の基準とする乾燥速度は供試材の含水率 (u) 10% におけるものとし u_e は 3.5% とした。この際含水率測定は絶乾法 (100°C) によつておこなつたため、針葉樹のうち揮発性分の多い樹種、また 2、3 の闊葉樹においては実際の含水率との間に 2~3% の差異を生じたと思われるものがあつたので後述の方法により補正した。板厚による乾燥時間の補正には各種厚さのナラ板を用いて試験し、板厚と乾燥速度との関係を求めこれにしたがつておこなつた。

Ⅲ 実験方法ならびに供試材

1. 標準厚さによる含水率 10% 時の乾燥速度 (%/h) の求めかた

実験装置は恒温恒湿恒風の小型風洞型実験装置を用い、先に述べた空気条件下で実験をすすめた。供試材は長さ 30 cm、巾 11 cm、厚さ 2.1 cm を標準とし、1 樹種につき原則として 2 枚ずつ実験をおこなつた。供試材の大きさならびに樹種、比重、年輪巾、産地を Table 1 に示す。

この実験をすすめていくにあたり、供試材を生材から直接前記空気条件下で乾燥しては供試材に表面硬化等の悪影響がはいり乾燥速度 (%/h) に異状が生ずるものと考え、あらかじめ供試材を常温室内で 25% 前後まで天然乾燥してその後実験装置に入れ実験をすすめた。供試材の重量測定時間ははじめ 2~3 時間おきとし、その後順次時間の間隔を増加し、そのつど材料を実験装置より取り出し迅速に上皿天秤で測定した。供試材の木口面は蒸発を防ぐためにソリダイトにて end coating した。

2. 厚さの変化による含水率 10% 時の乾燥速度 (%/h) の求めかた

実験装置および空気条件は 1. の場合と同じとした。供試材はナラを用い長さ 30 cm、巾 11 cm とし、厚さのみ 7 mm、13 mm、21 mm、28 mm、40 mm の 5 種類として 1 種類 2 枚ずつの供試材を用いて実験をおこなつた。供試材の大きさ、比重、年輪巾、産地は Table 2 に示すとおりである。試験方法は 1. の場合と同様にしたが板厚の差による側面の蒸発の影響をさけるために木口面と同様側面にもソリダイトを塗布した。

Ⅳ 実験結果および考察

1. 各樹種の標準厚さによる乾燥速度 (%/h)

わが国の主要樹種の標準厚さ (2.1 cm) に対して先の条件下で乾燥をおこなつた結果のうちエゾマツ、

Table 2. 厚さ別試験に供した資料
ナラ NARA 心材追征 Heart Wood
(*Quercus mongolica* FISCHER. var. *grosse serotata* REHD. et WILS.)

寸 法 Size (mm)			年 輪 巾 Annual ring Width (mm)	気乾比重 Specific gravity on air drying	産 地 Locality
長 さ Length	巾 Width	厚 さ Thickness			
298.0	101.0	7.0	0.9	0.72	北海道浦河
298.5	105.0	12.5	1.0	0.70	"
298.0	104.5	12.5		0.70	
298.0	102.0	21.0	1.2	0.77	"
298.0	102.5	28.0	1.0	0.76	"
298.5	105.0	27.5		0.75	
300.0	103.5	41.5	1.8	0.77	"
300.0	105.0	41.0		0.76	

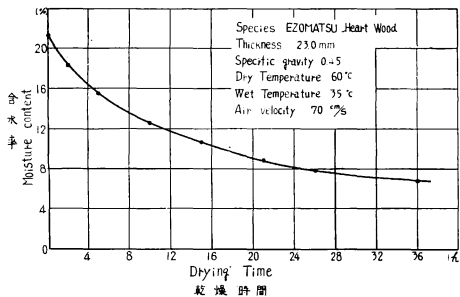


Fig. 1 エゾマツの乾燥経過

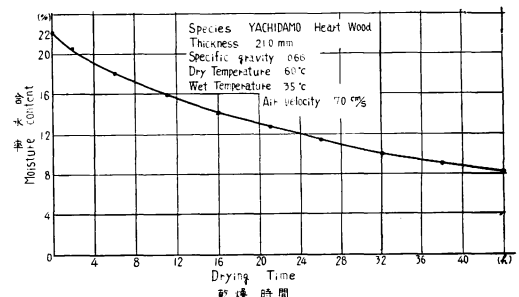


Fig. 2 ヤチダモの乾燥経過

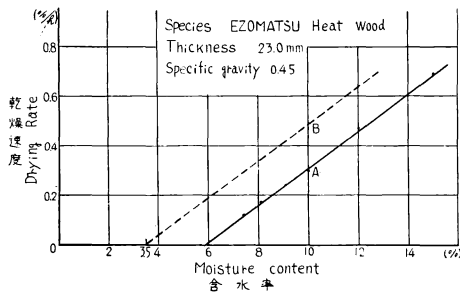


Fig. 3 エゾマツの乾燥速度曲線

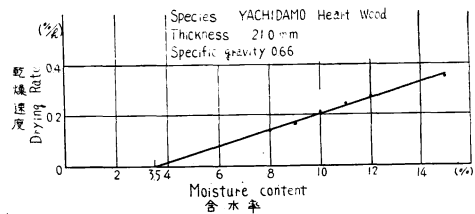


Fig. 4 ヤチダモの乾燥速度曲線

ヤチダモについて乾燥経過を Fig. 1, Fig. 2 に示す。これをさらに乾燥速度 (%/h) と含水率の関係で示せば Fig. 3, Fig. 4 となる。

この場合 Fig. 3 は乾燥速度曲線の蒸発量 0 の位置が平衡含水率と考えられる 3.5% より高含水率になっているが、この原因は絶乾法による含水率測定の際、水以外の揮発性物質が揮発したものと考えるには大すぎる場合もあるが、一応この場合 A の位置を点線のごとく平行移動した B 値を含水率 10% における乾燥速度とみなした。各樹種につき A, B の値を Table 3 に示す。これらについてみると同一原木から採取したものでもかなり差異の生じたものがあり、採材位置による年輪巾、比重、木理の相違が影響したものと考えられる。また、辺材と心材とはあきらかに相違があり、今後木材乾燥について試験する場合には樹種の相違と同様にこれを表示する必要があると思われる。また、同一樹種における差異もはなはだしく、ブナのごとく心材(偽心)化の程度により影響されるものや、ナラのごとくヌカ目材を含むものはばらつきの多いのは当然であろう。樹種相互の関係では一応比重の高いものが乾燥速度は小さくなっているが (Fig. 6 参照)、針葉樹については年輪巾のせまいものは同一比重でも乾燥が悪いようである。またネズコ、サワラは比重の軽いわりに乾燥が悪くなっているが、樹脂分が影響したのではないかと考えられ、実験方法が異なればかなり乾燥速度は増加するのではないと思われる。渦栗樹中キリ、バツコヤナギ、カツラは比重のわりに乾燥が悪いがその理由については不明である。

2. 厚さの変化による含水率 10% の乾燥速度 (%/h)

ナラについて厚さ別乾燥速度 (含水率 10%) を前項 1) と同じようにして得た値を Table 4 に示す。B 値につき厚さと乾燥速度との関係を両対数方眼で示すと Fig. 5 となり、1 cm 以上の厚さでは厚さと乾燥速度とはほぼ直線関係となり、直線の傾斜 (n) は 1/2 となった。

従来すでに研究されたこの種の問題については同一空気条件下で比較した板厚と乾燥所要時間との関係

Table 3. 樹種別乾燥速度一覧表

	樹種および木取 Specimen	含水率 10% 時における乾燥速度 (%/h)				K	含水率70%より10%まで乾燥する時間 t
		A	B	C	D		
1	トドマツ 心材, 追沓 TODOMATSU Heart Wood	0.37 0.40	0.54 0.46	0.54 0.46	0.50	0.077	29.9
2	モミ 心材, 追沓 MOMI Heart Wood	0.37 0.36	0.44 0.44	0.48 0.46	0.47	0.072	31.8
3	アオモリトドマツ 心材, 追沓 AOMORITODOMATSU Heart Wood	0.35 0.33	0.50 0.45	0.55 0.51	0.53	0.082	28.2
4	ネヅコ 心材, 追沓 NEZUKO Heart Wood	0.30 0.33	0.33 0.37	0.33 0.37	0.35	0.054	42.8
5	エゾマツ 心材, 追沓 EZOMATSU Heart Wood	0.29 0.30	0.51 0.49	0.58 0.59	0.59	0.090	25.6
*6	エゾマツ 心材, 板目 EZOMATSU Heart Wood	0.38	0.38	0.47	0.47	0.072	32.0
7	イラモミ 心材, 追沓 IRAMOMI Heart Wood	0.19 0.21	0.37 0.37	0.37 0.37	0.37	0.057	40.5
8	アカエゾマツ 心材, 追沓 AKAEZOMATSU Heart Wood	0.28 0.26	0.43 0.41	0.49 0.49	0.49	0.076	30.4
9	トウヒ 心材, 追沓 TOUHI Heart Wood	0.26 0.28	0.46 0.48	0.50 0.58	0.54	0.083	27.7
10	ハリモミ 心材, 追沓 HARIMOMI Heart Wood	0.26 0.24	0.44 0.51	0.51 0.58	0.54	0.083	27.6
11	ヒメコマツ 心材, 追沓 HIMEKOMATSU Heart Wood	0.28 0.29	0.28 0.26	0.30 0.29	0.29	0.045	51.2
12	アカマツ 心材, 追沓 AKAMATSU Heart Wood	0.24 0.21	0.33 0.29	0.33 0.29	0.31	0.048	48.2
13	クロマツ 心材, 追沓 KUROMATSU Heart Wood	0.19 0.20	0.30 0.36	0.29 0.38	0.33	0.051	45.1
14	ツガ 心材, 追沓 TSUGA Heart Wood	0.30 0.26	0.39 0.39	0.45 0.44	0.44	0.068	33.8
15	コウヤマキ 心材, 追沓 KOUYAMAKI Heart Wood	0.24 0.22	0.44 0.44	0.44 0.44	0.44	0.068	34.0
16	ヒノキ 心材, 追沓 HINOKI Heart Wood	0.20 0.19	0.29 0.30	0.31 0.31	0.31	0.048	48.1
17	サワラ 心材, 追沓 SAWARA Heart Wood	0.10 0.14	0.30 0.27	0.31 0.29	0.30	0.046	50.3
18	アスナロ 心材, 追沓 ASUNARO Heart Wood	0.19 0.20	0.40 0.34	0.41 0.38	0.39	0.061	37.8
19	カラマツ 心材, 追沓 KARAMATSU Heart Wood	0.20 0.23	0.31 0.34	0.32 0.38	0.35	0.054	42.6
20	キリ 心材, 追沓 KIRI Heart Wood	0.45	0.64	0.50	0.50	0.077	29.9
21	オオバシナノキ 心材, 追沓 OOBASHINANOKI Heart Wood	0.48 0.45	0.51 0.48	0.54 0.52	0.53	0.082	28.2
22	シナノキ 心材, 追沓 SHINANOKI Heart Wood	0.38 0.38	0.35 0.40	0.29 0.32	0.31	0.047	49.0
23	ドロノキ 心材, 追沓 DORONOKI Heart Wood	0.42 0.48	0.50 0.49	0.50 0.50	0.50	0.076	30.2
24	バツコヤナギ 心材, 追沓 BAKKOYANAGI Heart Wood	0.25 0.23	0.23 0.25	0.26 0.27	0.26	0.041	56.8
25	トチノキ 心材, 追沓 TOCHINOKI Heart Wood	0.32 0.37	0.27 0.33	0.28 0.35	0.32	0.049	47.4
26	センノキ 心材, 追沓 SENNOKI Heart Wood	0.30 0.31	0.36 0.37	0.36 0.37	0.36	0.055	41.7
27	サワグルミ 心材, 追沓 SAWAGURUMI Heart Wood	0.30 0.31	0.31 0.30	0.32 0.31	0.32	0.049	47.1
28	オニグルミ 心材, 追沓 ONIGURUMI Heart Wood	0.21 0.19	0.24 0.22	0.24 0.22	0.23	0.035	65.9
29	ホオノキ 心材, 追沓 HOONOKI Heart Wood	0.25 0.25	0.26 0.27	0.29 0.30	0.30	0.045	50.6

Table 3. (続)

	樹種および木取 Specimen	含水率 10% 時における乾燥速度 (%/h)				K	含水率70%より10%まで乾燥するに要する時間 t
		A	B	C	D		
30	シオジ 心材, 追沓 SHIOZI Heart Wood	0.23 0.24	0.22 0.22	0.21 0.23	0.22	0.034	67.6
31	ヤチダモ 心材, 追沓 YACHIDAMO Heart Wood	0.21 0.21	0.21 0.20	0.23 0.20	0.22	0.033	69.3
*32	ヤチダモ 心材, 板目 YACHIDAMO Heart Wood	0.23	0.23	0.25	0.25	0.038	60.0
33	アカダモ 心材, 追沓 AKADAMO Heart Wood	0.20 0.21	0.20 0.20	0.19 0.19	0.19	0.029	78.8
34	カツラ 心材, 追沓 KATSURA Heart Wood	0.18 0.17	0.19 0.18	0.21 0.20	0.20	0.031	74.4
*35	カバ 心材, 板目 KABA Heart Wood	0.17	0.17	0.19	0.19	0.029	79.3
36	イタヤカエデ 辺材, 追沓 ITAYAKAEDE Sap Wood	0.29 0.26	0.31 0.29	0.32 0.29	0.31	0.047	48.7
37	イタヤカエデ 心材, 追沓 ITAYAKAEDE Heart Wood	0.27	0.27	0.26	0.26	0.039	58.7
38	ナラ 心材, 追沓 NARA Heart Wood	0.19	0.18	0.18	0.18	0.028	81.6
*39	ナラ 心材, 板目 NARA Heart Wood	0.12	0.12	0.12	0.12	0.018	130.0
*40	ブナ 心材, 板目 BUNA Heart Wood	0.14	0.14	0.16	0.16	0.025	93.6
*41	ブナ 辺材, 板目 BUNA Sap Wood	0.23	0.23	0.24	0.24	0.037	62.8
*42	イヌブナ 辺材, 板目 INUBUNA Sap Wood	0.75	0.75	0.75	0.75	0.115	19.9
43	クヌギ 心材, 追沓 KUNUGI Heart Wood	0.06	0.06	0.05	0.05	0.008	280.5

* 林業試験場研究報告第 81 号, 第 93 号における乾燥特性曲線のデーターより引用

Table 4. 厚さ別乾燥速度表
ナラ 心材, 追沓 NARA Heart Wood.

寸法 Size (mm)			含水率 10% における乾燥速度 (%/h)			K	含水率70%より10%まで乾燥するに要する時間 t
長さ Length	巾 Width	厚さ Thickness	A	B	D		
298.0	101.0	7.0	1.40	1.13	1.13	0.173	13.3
298.5	105.0	12.5	0.39	0.43	0.43	0.066	35.0
298.0	104.5	12.5	0.37	0.43	0.43	0.066	35.0
298.0	102.0	21.0	0.19	0.18	0.18	0.028	81.6
298.0	102.5	28.0	0.10	0.10	0.09	0.014	170.4
298.5	105.0	27.5	0.08	0.08	0.09	0.014	170.4
300.0	103.5	41.5	0.04	0.04	0.04	0.005	426.0
300.0	105.0	41.0	0.04	0.04	0.04	0.005	426.0

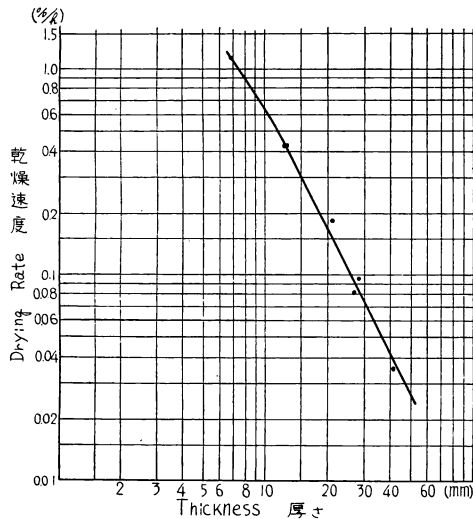


Fig. 5 ナラ材について含水率 10% における乾燥速度と板厚との関係

度は板厚の自乗に逆比例すると考えられ、Fig. 5 のナラによる試験もこの結果をうらづけているため 1 樹種についての試験ではあるが一応次式のような関係をもつものとした。

$$\frac{du}{dt} = k \frac{1}{d^2} \dots\dots\dots (3)$$

それゆえ、含水率 10% における乾燥速度 (%/h) と板厚との関係は平均含水率が 10% のときに表面含水率が外周空気条件の平衡含水率 (3.5%) 付近になる板厚でないと、

$$\frac{du}{dt} = k \frac{1}{d}$$

の関係は成立しなく、板厚が極端に薄くなると表面含水率と平均含水率の差は少なくなるため板厚の差異による同一含水率における表面含水率の差も少ないことになる。したがって、表面蒸発速度 (g/h) もほぼ同一になり、乾燥速度 (%/h) は板厚に逆比例し、

$$\frac{du}{dt} = k \frac{1}{d}$$

の関係に近づく性質のものであろう。

この試験の場合も板厚 10 mm 前後から直線の傾斜は変化し、この延長は $n=1$ に変化するものと想像される。

V 乾燥時間推定図表の作成

以上の実験結果より Table 3 の B 値を厚さ補正した値が同表 C であり、C の平均値が D である。かくして各樹種の規定条件および寸度に対する乾燥速度 (Table 3. D) が求められ、前述の (2) 式により K を、また (1) 式により含水率 70% より 10% まで乾燥するに要する時間を求めると Table 3 に示すとおりになる。

式 $t=kd^n$ があり、板厚 1~3mm の範囲では $n=1 \sim 1.3$ 、また 10~20 mm の範囲では $n=1.7$ とされている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

このように n 値に差異の生ずる原因は、板厚の差により全乾燥時間に対し、恒率乾燥、減率第 1、第 2 期間のしめる割合が異なり、それぞれの期間において板厚と乾燥速度との関係が異なるためであろう。すなわち、(1) 恒率期間では蒸発速度 (g/h) は板厚に無関係に同一であるため乾燥速度 (%/h) は板厚に逆比例する。(2) 減率第 2 段階においては表面含水率がほとんど外周空気条件の平衡含水率に近づいているため、この域における任意の含水率の蒸発量は木材内部の水分傾斜に比例すると考えられ、同一含水率で異なつた板厚について比較すれば蒸発量は板厚に逆比例し、乾燥速

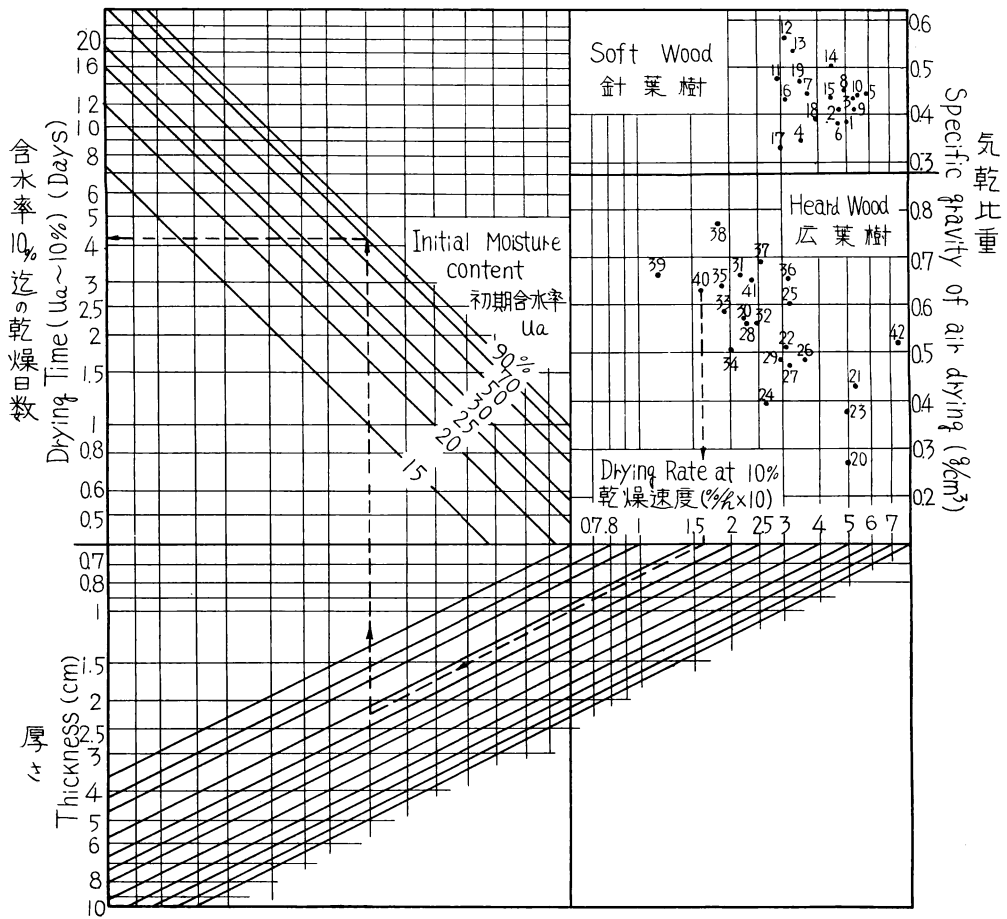


Fig. 6 乾燥時間推定表

このようにして各種初期含水率より 10% ま
で乾燥するに要する時間を求め、さらに (3)
式の関係を導入して作成したのが Fig. 6 であ
る。図中右上に示された番号は Table 3 の樹
種名番号である。この図表の使用法について、
ブナ心材、厚さ 2.2 cm の板を初期含水率 70%
より 10% まで乾燥する場合を例にして説明す
ると、まず Table 3 により樹種番号 40 を知

Table 5. 乾燥室型式による補正増加日数

乾燥日数	含水率 50% 以上		含水率 30% 以下	
	I. F.	N. C.	I. F.	N. C.
1日以下	0.5	1	0.5	1
1~2	0.5~1	2	0.5	1~1.5
2~5	1~1.5	3~5	0.5	1.5~2
5~10	1~2	5~7	0.5	2
10~20	1.5	7	0.5	2

り、Fig. 6 右上に示した番号位置より点線のごとく垂直におろし、板厚修正欄で斜線に平行に進み、目的の厚さ 2.2 cm のところから真上に延ばし含水率 70% を示した直線との交点が求める乾燥日数 4.2 日となる。

Table 6. 乾燥室による乾燥日数と計算値

樹種および木取	乾燥材厚 (mm)	初期含水率 (%)	仕上り含水率 (%)	乾燥日数		〇—△		乾燥室型式および実験場所	備考
				△	〇	乾燥おくれを待つ日数	計算による乾燥日数		
				最も早い乾燥場所 Days	最も早い乾燥場所 Days	Days	Days		
ヒノキ 心材, 追柵	13.0	70.0	10.0	0.8	1.1	0.3	0.8	{ I. F. 型 林試乾燥研究室	
” ” ”	13.0	70.0	10.0	1.0	2.0	1.0	0.8	{ N. C. 式 林試乾燥研究室	
エゾマツ 心材, 追柵	25.0	18.0	10.0	0.5	0.5	0.0	0.6	{ HD 74 型 ヒルデ ブランド乾燥機	
” ” ”	14.0	25.0	10.0	0.4	0.4	0.0	0.3	{ 林試乾燥研究室	
ブナ 心材, 板目	23.0	18.0	10.0	1.0	1.0	0.0	1.6	{ HD 74 型 ヒルデ ブランド乾燥機	
” ” ”	23.0	95.0	10.0	4.5	5.0	0.5	5.3	{ 林試乾燥研究室	
” ” ”	23.5	70.0	10.0	3.0	10.0	7.0	4.7		
” ” 柵目	23.5	20.0	10.0	1.2	2.7	1.5	1.9	{ N. C. 式 秋田県林業試験所	
” ” ”	23.5	40.0	10.0	3.0	6.5	3.5	3.5		
” ” ”	23.0	60.0	10.0	2.7	5.1	2.4	4.3	{ I. F. 型 名古屋木材 K. K.	
” ” 追柵	23.0	80.0	10.0	5.3	5.8	0.5	4.8	{ I. F. 型 林試乾燥研究室	
” 辺材 ”	22.0	60.0	10.0	1.3	1.5	0.2	2.6	{ HD74 型 ヒルデ ランド日本ヒルデ	
ナラ 心材, 追柵	25.0	60.0	10.0	7.5	7.9	0.4	6.8	{ I. F. 型 徳島県林業指導所	6 h 風向切換
” ” ”	25.0	65.0	10.0	7.1	7.5	0.4	7.3	{ I. F. 型 徳島県林業指導所	6+12 h 風向切換
カツラ 心材, 追柵	13.0	65.0	10.0	1.0	1.5	0.5	1.2	{ I. F. 型 徳島県林業指導所	

Ⅶ 乾燥時間推定図表の適応性と応用について

以上のようにして作成した推定図表については、試験材の選びかた、計算式からみてかなり問題点があると思われる。しかしすでに林業試験場研究報告第 81, 第 93 号で述べたごとく前述の (1), (2) 式により求めた乾燥時間内で (2) 式が満足するような含水率減少経過を試料に与えたところ、これら被乾燥材の仕上り状態は比較的良好であり、含水率減少にともなう乾湿球温度差変化は一般常識とあまりかけはなれたものでなかつた。またさらに Fig. 6 により求めた乾燥日数と実際の乾燥室操作日数とを 2, 3 の樹種について比較すれば Table 6⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾ のごとくなり、乾燥室内で最も早く乾燥を終了した材料の乾燥日数 (△印) とかなりよく合致している。しかし実際の乾燥室ではこの試験のように 1 枚の試料についての乾燥日数では乾燥おくれが生ずるため乾燥が終了しないわけで、求めた乾燥日数を適当修正しなければならない。この補正値は乾燥室型式、大きさ、棧積法、材料の初期含水率、板厚によって変化するものできわめて掌握しにくい値であるが、Table 6 の〇印、「最も乾燥のおくれる場所の乾燥日数」と、△印、「最も乾燥の早い場所の乾燥日数」との差額日数や棧積内の乾燥おくれについての試料⁹⁾ 等から総合して作成したものが Table 5 の補正増加日数である。この使用法は Fig. 6 より求めた乾燥日数と被乾燥材の初期含水率、乾燥室型式とから増加日数を求め、求めた乾燥日数に加算すればよいわけである。

前記ブナ 2.2 cm 厚，初期含水率 70% について求めた乾燥日数 4.2 日をこの表によつて補正すれば，自然換気式乾燥室（N. C.）では 8 日，インターナルファン型乾燥室では 5.5 日となる。この場合同一型式乾燥室でも設計，積積法の差異により補正増加日数の異なることは当然である。スタートバンド型乾燥室については大略両者の中間程度とみればよからう。

以上のごとくこの乾燥日数推定法は大局的にみて実際の場合とかなりよく合つてはいるが，さらにこれを細部的にみると次のようにいえよう。

（１） これら一連の試験は比較的良質材についておこなつたものであるため，等級の低い材料についての乾燥日数は多少増加する必要がある。

（２） ナラ，モミのごとく材の構造あるいは性質からみて割れやすい樹種，またブナ，カツラ，カバのように狂いやすい樹種に対しては乾燥日数を増加する必要がある。

（３） この推定日数は厚板には短く，薄板には長く算出される傾向である。

（４） Fig. 6 に示された樹種のうち試験材の選 びかたあるいは実験方法等に原因して一般常識と相違した乾燥日数を示していると思われるもののうち，乾燥日数の多くなつてゐるものはネズコ，サワラ，39 ナラで，少なすぎると思われるものは 38 ナラ，イタヤカエデ，トチノキ，イヌブナ辺材等であろう。

（５） この推定図表は板材についておこなつたものであるから，角材あるいは短尺材についてはまったく適用されない。

実際にこの推定図表を使用する場合は上記のことがらに注意し，さらに原木価格，乾燥費，二次加工品の種類等主として経済的因子による乾燥日数の差異，同一樹種内における乾燥速度の違い等も合わせ考えれば一応使用に耐えうるものと考えられよう。

Ⅶ む す び

代表的日本産樹種について人工乾燥日数を推定する方法として試験場研究報告第 81，第 93 号で報告した方法により標準寸度の板材の乾燥日数を求め，新たに求めた板厚補正式にしたがつてこれを各厚さのものに適當させ，1 枚の図表化した。この図表により求められた乾燥日数は現在おこなわれている実際の乾燥室操作日数とかなりよく合つており，充分その実用性が認められた。細部についての差異は今後実験をかさね細部補正していきたいと思う。

文 献

- 1) F. KOLLMAN: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe 2 Band (1955) p. 311 ~317
- 2) 寺沢 真・岩下 睦: 木材乾燥操作に関する基礎的研究（第Ⅰ報），乾燥特性曲線について（1），林業試験場研究報告，81，9—(1955) p. 81~93
- 3) 寺沢 真・小玉牧夫: 木材乾燥操作に関する基礎的研究（第Ⅱ報），乾燥特性曲線について（2），林業試験場研究報告，93，2—(1957) p. 89~96
- 4) 小倉武夫: 木材の乾燥機構に関する研究（第Ⅰ報），表面蒸発速度及水分伝導度と板の厚さとの関係，林業試験場研究報告 42，(1949) p. 1~15
- 5) 筒本卓造: 単板の乾燥について，日本協合板部会講演資料，(1956) p. 1~10

- 6) F. KOLLMANN: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe 1 Band. (1951) p. 473
~475
- 7) 岩下 睦・谷淵正弘: インターナルファンタイプ乾燥室に関する研究 (第 I 報), 徳島県林業指導所報告 No. 1, 11—(1955) p. 59~75
- 8) 寺沢 真・佐藤庄一・野原正人: ヒルデブランド HD 74 型乾燥機の性能試験について, 林業試験場研究報告 第 93 号, 2—(1957) p. 131~146
- 9) 平井信二・長岐義蔵: 木材乾燥スケジュールの研究, 農林漁業技術研究費による研究報告, 7—(1955)
- 10) 日本ヒルデブランド乾燥機株式会社: ヒルデブランド HD74 型乾燥機, 木材工業, Vol. 11, No. 10, 10—(1956) p. 12~13

Fundamental Study on the Operation of Wood Drying. (III)

A simplified estimation of drying time in kiln drying.

Shin TERAZAWA and Makio KODAMA

(Résumé)

This paper was prepared in order to estimate the kiln drying time for any given species or thickness used for any purpose wherein the benefit of practical kiln operation time, is desired. Under constant drying condition of D. T. 60°C, W. T. 35°C, the drying rate du/dt was determined from the experimental data when the sample board (thickness 21 mm) had 10% m.c. during the drying course. By using the following formulas (1), (2) to substitute the values of drying rate, the drying time (t) could be calculated.

$$du/dt = k(u_a - u_e) \dots\dots\dots (1)$$

$$t = \frac{1}{k} \log \frac{u_a - u_e}{u - u_e} \dots\dots\dots (2)$$

(where u ; a given m.c., u_a ; initial m.c., u_e ; final m.c.)

From the above formulas and the relation which drying time was increased with thickness of board as the second power, Fig. (6) could be obtained graphically.

Distortion of Wood.**The method of sawing logs to secure diminution of shrinkage and warping.**

Saburo ISAKA

(Résumé)

If the shrinkage were the same in all directions there would be no distortion of shape. But wood shrinks more in the circumferential or tangential direction than in the radial.

When the flat-grain boards were dried slowly without externally applied stress and without undue casehardening, the warping curves were found to conform closely to the equation (see Reference (2))

$$\delta = a(\alpha_t - \alpha_r)y \tan^{-1} y,$$

where (a) is the distance from center of log to the board, (ay) is half of the board width (see Fig. 1). They will assume the shapes shown in Fig. 2.

So the radius of curvature at a given point of the board is shown by the following equation

$$\rho = \frac{a(1+y^2)^2}{2(\alpha_t - \alpha_r)},$$

and the center-lines of ρ are shown by the curves in Fig. 3.

If we expect upward of a given radius of curvature in dried flat-grain board, these must be sawn at the outside of that corresponding center-line.

On the other hand half length of the minor axis of center line of ρ is given by

$$(ay)_{max} = 0.6459 \rho (\alpha_t - \alpha_r) = 0.081 \frac{B^2}{\epsilon} (\alpha_t - \alpha_r),$$

and the major axis of that is given by

$$(a)_{max} = 2\rho(\alpha_t - \alpha_r) = 0.250 \frac{B^2}{\epsilon} (\alpha_t - \alpha_r),$$

because the relation between radius of curvature of the board (width B) and the amount of warping deflection (ϵ) is given by

$$\rho = \frac{B^2}{8\epsilon}.$$

So the method of sawing logs to secure diminution of shrinkage and warping is shown in Fig. 6, and distance from center of log to cutting line is culculated by

$$0.081 \frac{B^2}{\epsilon} (\alpha_t - \alpha_r),$$

the width of board b is

$$\frac{B + D(\alpha_t - \alpha_r) + 0.2}{1 - \alpha_t},$$

the thickness of board d is

$$\frac{D + \epsilon + 0.2}{1 - \alpha_t},$$

where B and D are finished size cm, and 0.2 (cm) is addition of shaving.