

# パプアニューギニア産3樹種の人工乾燥試験

米田昌世 Jim MAMUN\*<sup>1</sup>

## Kiln Drying Test of Three Papua New Guinea Woods

Masatoshi YONETA Jim MAMUN\*<sup>1</sup>

The present study aims to find out an optimum schedule for drying Papua New Guinea plantation and less-used wood species in a kiln. The wood samples used in the experiments were Red cedar (*Toona sureni*), Hard Celtis (*Celtis* sp.) and Teak (*Tectona grandis*), and were collected in different areas in PNG. To find out an optimum drying schedule for each of the species, the following three varieties of tests were performed.

- (1) Quick drying tests with small samples at 100°C<sup>1</sup>.
- (2) Tests of drying rates at 60°C.
- (3) Tests of drying schedules with boards of commercial sizes.

*Keywords*: Kiln drying, Papua New Guinea Woods, *Toona sureni*, *Celtis* sp., *Tectona grandis*.  
人工乾燥, パプアニューギニア産材, レッドシーダー, セルティス, チーク

パプアニューギニア産の造林木および未利用材の適正な乾燥スケジュールを見いだすために試験を行った。使用したのはレッドシーダー, セルティスおよび造林チークの3樹種である。

以下の3試験を行い樹種ごとの適正な乾燥条件を求めた。

- ①小試験片を用いた急速乾燥試験 (100°C試験)
- ②乾燥速度試験 (60°C試験)
- ③実大材による乾燥スケジュール試験

### 1. はじめに

歴史的には、1960年代にオーストラリアの科学技術研究機構 (CSIRO) がパプアニューギニア (以下 PNGと略す) 材について、基礎的な乾燥試験を開始している。その後、Eddowesによってさらに実験が進められ、いくつかの樹種の人工乾燥スケジュール表が取りまとめられた<sup>2)</sup>。

しかし1975年 (PNG独立) 以降は、オーストラリアの研究者がいなくなったことにより乾燥に関する研究は一時中断の状態が続いていた。1989年に日本の援助で現在の森林研究所が設立され、引き続き1990年から専門家 (木材加工部門) の派遣および機材の供与が行われ、研究が再開され現在に至ってい

る。

本試験は、筆者の一人である米田が国際協力事業団 (JICA) 派遣の専門家としてPNGに滞在中に行ったもので、各樹種の適正な乾燥スケジュールを見いだすとともに、当地の研究員に対し乾燥試験の手法 (手順) を教えることを大きな目的としている。

初めに小さな試験片を用いて100°Cおよび60°Cの基礎試験を行い、この結果から実大材についての標準的乾燥スケジュールを推定した。次いでこれを基に数種の条件下で乾燥スケジュール試験を実施した。

なお、PNG産材の乾燥性に関する基礎的な試験はこれまでもいくつか行われているが<sup>3, 4)</sup>、PNGの研究員自身が基礎試験だけではなく応用試験まで一貫し

で行ったのは今回が初めてである。

試験材の数量や日程的な制約などから、かならずしも十分な成果を得たとは言いがたいが、資料として活用いただければ幸いである。

## 2. 基礎試験

### 2.1 供試材

未利用樹種としてレッドシーダー (*Toona sureni*) およびセルティス (*Celtis* sp.) を用いた。両樹種ともにモロベ州のプロロ産である。チーク (*Tectona grandis*) は東ニューブリテン島のラバウル近郊にあるケラバットプランテーションからの造林木 (21年生) で、胸高直径の平均は25.6cmであった。

これらの原木を製材し、各試験ごとに以下の寸法に仕上げた。

- ① 急速乾燥試験；厚さ2.0cm, 幅10cm, 長さ20cm
  - ② 乾燥速度試験；厚さ2.0cm, 幅10cm, 長さ30cm
- いずれも試験材の表面はプレーナーをかけ、水分の

蒸発を防ぐためそれぞれの木口面にコーティング剤 (銀ニス) を塗布した。なお、②の試験材については板目面、柾目面別の乾燥速度を調べるため、側面にも塗布を行った。

### 2.2 試験方法

#### 2.2.1 急速乾燥試験 (100℃)

100℃に設定した自然循環式の電気定温乾燥器を用いて、試験材を生の状態から急速に乾燥し、その際に発生する欠点の種類・程度から、実大材 (厚さ2.7cm) に対する乾燥スケジュールを推定した。

具体的な測定は以下のようにして行った。

初めに、乾燥開始後1~3時間の間に現れる表面割れ、木口割れを観察し、その最大時の値から初期割れのランクを決定した。表面割れが最大値を示し、割れ幅が縮み始めた後は、割れの測定を終了し、重量のみを適宜測定した。48~72時間経過し、重量変化が無くなった時点で、試験材の中央部を鋸断し断面変化 (落ち込み) および内部割れの程度を調べた。

第1表 急速乾燥試験 (100℃) の結果と推定された乾燥条件  
Table 1. Results of drying test at 100 °C and estimated kiln drying conditions.

樹種名 (一般名) Species (Common name)	供試材番号 Sample number	初期含水率 (%) Initial moisture content	欠点の種類と程度 Grading of defects			推定された条件 (°C) Estimated drying conditions		
			初期割れ Initial check	変形 Deformation	内部割れ Internal check	初期温度 Initial DBT	初期温度差 Initial WBD	末期温度 Final DBT
レッドシーダー Red Cedar	RC-A	87.4	1	4	1	55	3.6	83
	RC-B	84.7	1	4	1	55	3.6	83
	RC-C	72.3	1	3	1	60	4.3	85
	RC-E	82.6	1	4	1	55	3.6	83
セルティス Celtis	CE-8	47.7	7	1	1	47	2.0	80
	CE-7	46.4	7	2	1	47	2.0	80
	CE-6	44.2	7	1	1	47	2.0	80
	CE-5	43.4	7	2	1	47	2.0	80
チーク Teak	T51-1	116.0	1	1	1	70	6.5	95
	T51-13	108.0	1	1	1	70	6.5	95
	T51-14	102.8	1	2	1	65	6.0	88

注：「初期割れ」と「変形」の欠点の程度は、1 (欠点がないか又は微小) ~ 8 (極めて大) の8段階。「内部割れ」については1~6の6段階。DBT：乾球温度、WBD：乾湿球温度差。

Note : Grades are No. 1 to No. 8 for both initial check and deformation, and No. 1 to No. 6 for internal check. No. 1 means "None" or "Negligible", No. 8 or 6 means "Extreme". DBT: Dry bulb temperature, WBD: Wet bulb depression.

供試材数は板目板3枚である。

### 2.2.2 乾燥速度試験 (60 )

試験材の含水率が30~25%までに低下するまでは室内で徐々に乾燥し、その後は強制送風式の電気定温乾燥器を使用して、60 の条件で乾燥した。なお、乾燥の終了は含水率がほぼ平衡状態 (約6%) に達するまでとした。

乾燥経過中の重量測定は1日1~2回行い、乾燥速度および乾燥速度減少係数 (K) を求めた。乾燥終了後、試験材の中央部 (幅約5cm) を切り取り全乾にし正確な含水率を計算した。また、残りの部分は室内に放置し平衡状態に達した後、比重の測定を行った。収縮率の測定は材中央部の厚さ方向3か所、幅方向1か所の計4か所について精度1/20mmのノギスを用いて行った。供試材数は板目板5枚、追い柵目板2枚の合計7枚である。

## 2.3 結果と考察

### 2.3.1 急速乾燥試験 (100 )

得られた結果と、これを基に推定された実大材に対する標準的な乾燥条件を第1表に示した。特徴的に見られた欠点等については、以下のとおりである。

#### (1) 初期割れ

セルティスは大きな初期割れ (ランク6~8) を示したが、他の樹種は非常に小さかった。

#### (2) 変形 (落ち込み)

レッドシーダーに若干の落ち込みが認められた。しかし他の樹種についてはほとんど発生は無いが微々たるものであった。

### (3) 内部割れ

今回試験を行った3樹種ともに内部割れはまったく認められなかった。

### 2.3.2 乾燥速度試験 (60 )

レッドシーダー、セルティスおよびチークの代表的な乾燥経過を第1図に示した。この図を基に、各含水率時点における乾燥速度 (%/h: 乾燥経過曲線の接線の傾き) を求めた。第2図はセルティスについての乾燥速度図であるが、他の樹種についても同様の図が得られている。図中の含水率7%から15%の間で、比較的直線上にあると思われる点を結んで得られた直線の傾きが乾燥速度減少係数 (K) を表す。

第2表は比重、収縮率などと共に上記の結果を取りまとめたものである。今回用いたレッドシーダーとチークの比重はこれまでに報告されたものとほぼ同様の値を示したが、セルティスはやや高めであった<sup>2)</sup>。

## 3. 乾燥スケジュール試験

### 3.1 供試材

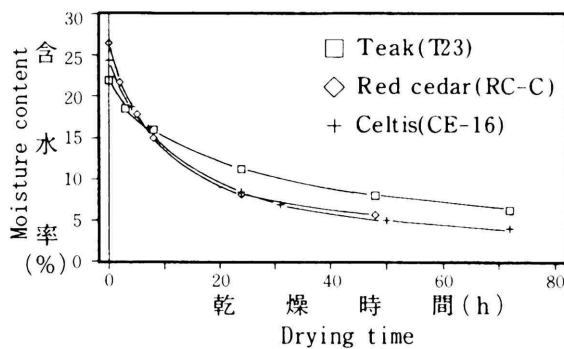
上記の基礎試験と同じレッドシーダー、セルティスおよびチークの3樹種を用いた。

供試材を厚さ2.7cm × 幅11~15cm × 長さ70cmに木取り、両木口にコーティング剤を塗布した。

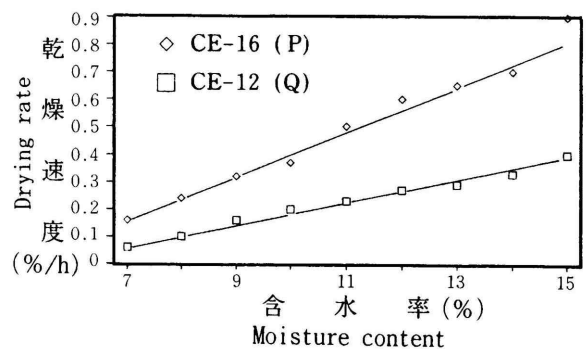
### 3.2 測定方法

始めに前項 (1) の100 試験から推定された標準的なスケジュールで試験を実施し、次いでこの結果を基に数種の条件下で乾燥スケジュール試験を行った。

供試材は1回の試験につき6~8枚 (板目、柵目込



第1図 60 試験の乾燥経過  
Fig.1. Drying curve of 60 test .



第2図 セルティスの乾燥速度 (60 試験)  
Fig.2. Drying rate of Celtis .

第2表 乾燥速度試験(60 )  
Table 2. Results of drying test at 60 .

樹種名 (一般名) Species (Common name)	供試材番号 Sample number	気乾比重 Specific gravity	含水率10%時の 乾燥速度 Drying rate at 10% M. C. (%/h)	乾燥速度減少 係数(K) Coefficient of drying rate( $\times 10^{-2}$ /h)	全乾収縮率 Shrinkage from green to O. D. (%)	
					板厚 Thickness	板幅 Width
レッドシーダー Red Cedar	RC-A	0.36	0.42	3.22	-	-
	RC-B	0.35	0.45	5.70	-	-
	RC-C	0.35	0.39	4.80	2.66	5.20
	RC-E	0.34	0.27	5.88	3.19	5.10
セルティス Celtis	CE-12	0.83	0.20	4.25	4.94	9.24
	CE-14	0.84	0.45	6.40	8.62	4.05
	CE-16	0.82	0.37	7.10	8.47	7.14
チーク Teak	T34-11	0.54	0.12	2.81	2.22	3.61
	T23	0.58	0.15	4.70	1.49	4.58
	T51-1	0.57	0.17	4.25	1.50	3.61

み)を用いた。乾燥にはHildebrand高速木材乾燥機HD74/TA型(材積約0.08m<sup>3</sup>入り, インターナルファンタイプ, 電熱による)を使用し, 原則的には連続運転とした。測定項目, 方法等は以下のとおりである。

(a) 含水率経過

スケジュールごとに板目板, 柁目板各1枚を選び, あらかじめ推定全乾重量を求め, コントロール材とした。1日1~2回重量(水分)の測定を行い, 含水率の減少経過に合わせて温湿度を変化させた。

(b) 収縮率

コントロール材のほぼ中央部に厚さ方向3か所と幅方向1か所に測定点を付け, 精度1/20mmのノギスを用いて適宜測定を行った。

(c) 水分傾斜

上記のコントロール材の他に柁目, 板目の板各1枚を選び試験材とし, 乾燥経過中に随時鋸断して測定を行った。測定方法は次のとおりである。木口から少なくとも10cm以上中に入った箇所から繊維方向に約10mmの試験片を取り, 厚さを5等分にスライスしそれぞれの重量を測定した。次

いでこれらの試験片を105の電気恒温乾燥器中で全乾とし, 各層の含水率を算出した。

(d) 狂い, 割れその他の欠点

幅ぞりの測定は, 乾燥を終了した板目板の中央部1か所について精度1/20mmのノギスを用いて行った。割れその他の欠点は目視により判定した。

3.3 試験結果と考察

3.3.1 レッドシーダー

基礎試験の結果を若干修正し, 第3表に示す2条件で乾燥試験を実施した。No. 1は基礎試験から求められた標準的なスケジュールである。No. 2はヒーターの電気消費を抑えることを考慮に入れた, 低温のスケジュールである。

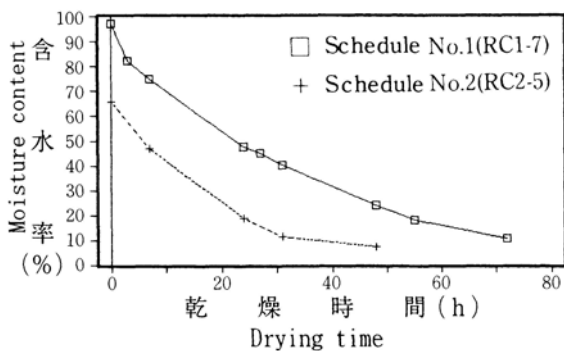
(a) 含水率経過

含水率の減少経過を第3図に示した。生材から含水率が10%まで低下するのに要した日数は, スケジュールNo. 1では3日であった。一方, スケジュールNo. 2の場合は, 条件を緩和したにもかかわらず, わずかに2日であった。この原因として, 一つには後者の初期含水率の低かったこと,

第3表 レッドシーダー3 cm厚板の乾燥スケジュール  
Table 3. Drying schedule for Red Cedar.

含水率 Moisture content (%)	No. 1 標準 Standard		No. 2 低温 Low temperature	
	DBT(°C)	WBD(°C)	DBT(°C)	WBD(°C)
生 - 55	60	5	50	4
55 - 45	60	7	50	4
45 - 40	65	10	50	4
40 - 35	65	13	50	5
35 - 30	70	16	55	7
30 - 27.5	70	20	55	10
27.5 - 25	75	20	55	10
25 - 20	75	25	60	20
20 - 15	80	30	65	20
15以下	80	30	75	33

DBT: 乾球温度, Dry bulb temperature  
WBD: 乾湿球温度差, Wet bulb depression



第3図 レッドシーダーの乾燥経過  
Fig. 3. Drying curve of Red cedar.

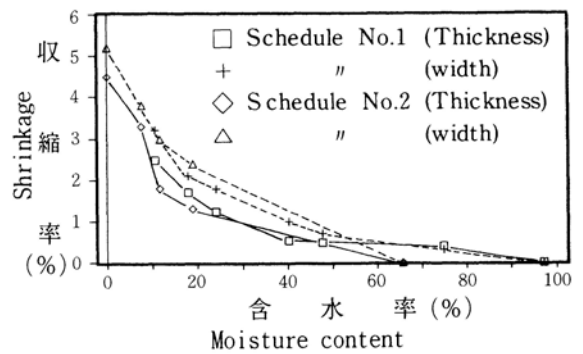
二つ目は、後者のケースで乾燥操作上のミスがあり、装置内の実際の湿度が、設定した湿度条件よりも低めに推移したことがあげられる。

(b) 収縮率

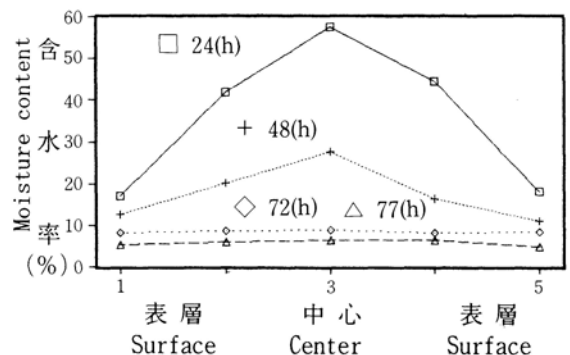
含水率と収縮率の関係を第4図に示した。含水率10%時における収縮率はいずれのスケジュールにおいても2~3%であった。

(c) 水分傾斜

代表的な結果の一例を第5図に示した。これはスケジュールNo.1の例であるが、乾燥初期にお



第4図 レッドシーダーの収縮経過  
Fig. 4. Shrinkage curve of Red cedar.



第5図 レッドシーダーの水分傾斜  
(スケジュールNo.1)  
Fig. 5. Moisture content gradient of Red cedar.

る材の表層と内部の含水率差は40%にも達していることが分かる。しかし、乾燥の末期には水分傾斜は小さくなっている。

(d) 狂い、割れその他の欠点

標準的なスケジュール (No.1) において、ほとんど無視できる程度の非常に小さな割れや落ち込みが認められた。低温のスケジュールNo.2では、これらの欠点の発生はまったく認められなかった。

3.3.2 セルティス

第4表に示す2つのスケジュールを用いて実大材に対する乾燥試験を行った。No.1は基礎試験から求められた標準的なスケジュールであり、No.2はNo.1の結果をふまえ条件をやや緩和した低温のスケジュールである。

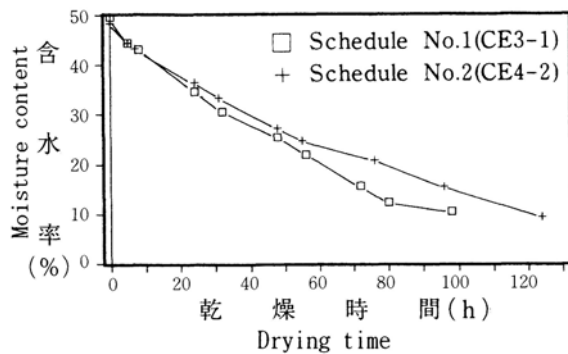
(a) 含水率経過

含水率の減少経過を第6図に示した。生材から

第4表 セルティス 3 cm 厚板の乾燥スケジュール  
Table 4. Drying schedule for Celtis.

含水率 Moisture content (%)	No. 1 標準 Standard		No. 2 低温 Low temperature	
	DBT(°C)	WBD(°C)	DBT(°C)	WBD(°C)
生 - 40	50	2	45	2
40 - 35	50	3	45	3
35 - 30	55	5	50	5
30 - 25	60	7	55	7
25 - 20	65	10	60	10
20 - 15	70	16	65	15
15以下	75	25	70	25

DBT: 乾球温度, Dry bulb temperature  
WBD: 乾湿球温度差, Wet bulb depression



第6図 セルティスの乾燥経過  
Fig. 6. Drying curve of Celtis.

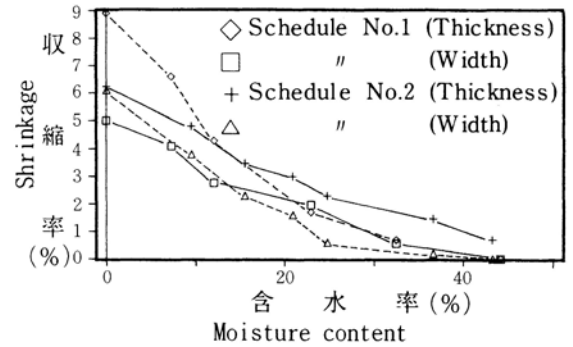
含水率が10%まで低下するのにスケジュールNo.1では4日を要した。一方、乾燥割れを防ぐことに主眼を置いた緩やかなスケジュールNo.2の場合は、5日間を必要とした。

(b) 収縮率

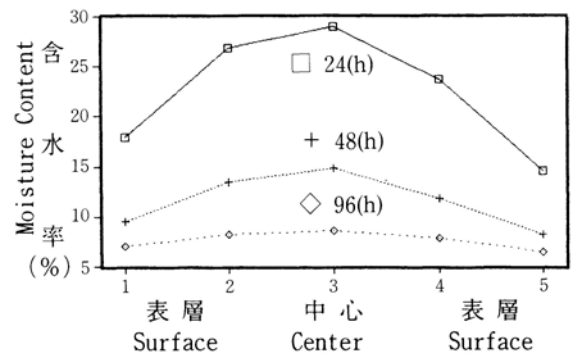
含水率と収縮率の関係を第7図に示した。含水率10%時における収縮率はいずれのスケジュールにおいても3~5%の範囲であった。

(c) 水分傾斜

結果の一部を第8図に示した。これはスケジュールNo.1の例であるが、乾燥初期における材の表層と内部の含水率差は14~15%であった。し



第7図 セルティスの収縮経過  
Fig. 7. Shrinkage curve of Celtis.



第8図 セルティスの水分傾斜 (スケジュールNo.1)  
Fig. 8. Moisture content gradient of Celtis.

かし、乾燥の末期には水分傾斜は小さくなっている。スケジュールNo.2についても、ほぼ同様の傾向であった。

(d) 狂い、割れその他の欠点

スケジュールNo.1では、乾燥の初期に板目板に比較的大きな表面割れの発生が認められた。一方、より緩和な条件であるスケジュールNo.2で乾燥を行った場合には、欠点は皆無となった。

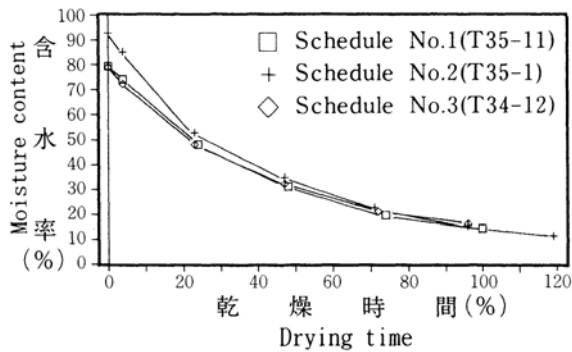
3.3.3 チーク

今回実施した3種類の乾燥スケジュールを第5表に示した。乾燥装置の能力が最高温度80°Cと制限されていたために、基礎試験から得られたスケジュール(第2表参照)をそのまま適用することは出来なかった。そこで、今回の温度条件はいずれのスケジュールについても、初期:60°C、末期:80°Cとすることにした。スケジュールNo.2は、No.1よりも温度上昇の時期を若干早めた条件、No.3はやや低湿度

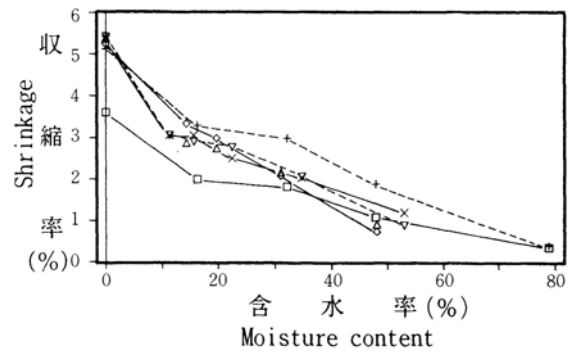
第5表 チーク3 cm厚板の乾燥スケジュール  
Table 5. Drying schedule for Teak.

含水率 Moisture content(%)	No. 1 標準 Standard		No. 2 やや高温 Slightly high temperature		No. 3 低湿 Low humidity	
	DBT(°C)	WBD(°C)	DBT(°C)	WBD(°C)	DBT(°C)	WBD(°C)
生 - 65	60	5	60	7	60	8
65 - 55	60	7	60	7	60	10
55 - 45	60	9	60	10	60	15
45 - 40	60	13	65	15	60	15
40 - 35	65	13	65	15	65	20
35 - 30	65	18	70	20	70	25
30 - 25	70	24	75	25	75	30
25 - 20	75	25	80	30	80	35
20以下	80	30	80	30	80	35

DBT: 乾球温度, Dry bulb temperature  
WBD: 乾湿球温度差, Wet bulb depression



第9図 チークの乾燥経過  
Fig.9. Drying curve of Teak.



第10図 チークの収縮経過  
Fig. 10. Shrinkage curve of Teak.

凡例: ◇ Schedule No.1(Thickness)  
Legend △ Schedule No.1(Width)  
× Schedule No.2(Thickness)  
▽ Schedule No.2(Width)  
□ Schedule No.3(Thickness)  
+ Schedule No.3(Width)

の条件である。

(a) 含水率経過

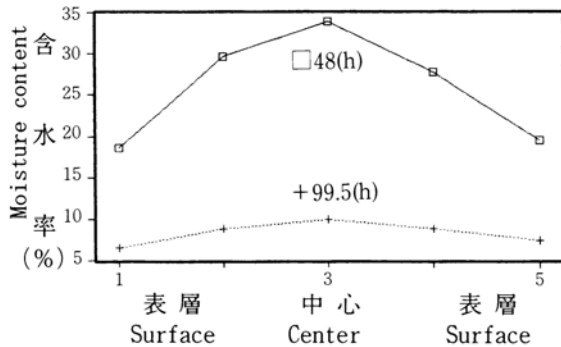
含水率の減少経過を第9図に示した。スケジュールによる差はあまり明瞭ではない。すなわち生材から含水率が10%まで低下するのに要した日数は、いずれのスケジュールも4.5~5.0日であった。これは、前記のとおり、温度条件が3スケジュールともほぼ同じになったことによると思われる(湿度条件を多少変えたが、あまり影響は見られなかった)。

(b) 収縮率

含水率と収縮率の関係を第10図に示した。含水率10%時における収縮率はいずれのスケジュールにおいても2.5~4%であった。

(c) 水分傾斜

結果の一例を第11図に示した。乾燥初期における材の表層と内部の含水率差は17~18%とかなり大きいことが分かる。しかし、乾燥の末期には、他



第11図 チークの水分傾斜(スケジュールNo.1)  
Fig.11. Moisture content gradient of Teak.

の樹種の場合と同じように水分傾斜は小さくなっている。

(d) 狂い, 割れその他の欠点

板目板の幅反りはスケジュールにかかわらず, 1.5~2.5mm/15cmの範囲であった。

木口から発生した極く小さな表面割れを除いては, 全般的に割れの発生は認められなかった。

4. おわりに

造林樹種としてチークを, 未利用樹種として天然のレッドシーダーおよびセルティスを選びこれらについて乾燥スケジュール試験を行った。基礎試験により実大材のスケジュールを推定し, この後適正な条件を見いだすためいくつか条件を変えてスケジュール試験を実施した。

最終的にはそれぞれの樹種について得られた適正と思われる条件により, 欠点の発生を抑えながら比較的短い時間で乾燥することが出来た。

基礎から応用に至る一連の乾燥試験はパプアニューギニア森林研究所においては初めてのことであるが, 研究手法の移転はほぼスムーズに行われたものと思う。今後, さらに多くの樹種についてこの種の試験を継続し, データを蓄積していくことが必要と考える。

文 献

- 1) 寺沢 真 : 人工乾燥スケジュールの簡易決定法, 木材工業, 20(5), p. 2-7(1965).
- 2) Eddowes, P. J. : Commercial Timbers of Papua New Guinea, Forest Products Research Centre, Port Moresby, p. 106-126(1977).
- 3) 久田 卓興 ほか2名 : 南洋材の人工乾燥スケジュールの類別化, 林試研報 No. 340, p. 121-167(1986).
- 4) Sumi, H. and Mamun, J. : "Study on Fundamental Kiln Drying Properties of Three PNG Woods ", JICA-FRI Publication, Research Note No. 2, p. 75-78(1992).

—技術部 加工科—

— \*1 PNG Forest Research Institute—  
(原稿受理 H7. 11. 27)