

講演

## 木材乾燥の将来展望

農林水産省林業試験場  
木材部乾燥研究室長  
農学博士 鷺見博史



8月7日に北海道林産技術普及協会の主催する高品質・低コスト化のための木材乾燥講習会が開催され、鷺見博史氏が木材乾燥の現状の見つめ直しから将来の展望について多くの問題提起と提言をなされました。まことに有益なお話ですので、会員の方々にご一読いただき、木材乾燥に関する認識を新たにしていただきたいと思います。

(北海道林産技術普及協会)

### はじめに

木材は空気の温度、湿度の変化に伴って、吸湿、放湿（乾燥）する。木材が吸湿、放湿すれば膨張、収縮することは誰でも知っている。木製品に対するユーザーからのクレームは、大抵の場合、乾燥による収縮に起因するトラブルといつても過言でない。「木材はもともと乾燥してから使うもの」ということは十分承知しているが、種々の事情でこれが必ずしも守られていないのが実情で、このことがいまひとつ木材工業の発展を阻害している原因になっている。この機会を利用して、改めて木材乾燥の現状を見つめ直し、将来を展望して見たい。

### 1. 現状の認識

#### 1.1 乾燥対象としての木材の変化

わが国の木材乾燥の歴史は、国産広葉樹材の天

然乾燥から出発した。明治40年ごろ、某社がはじめてスタートバンクト（英國）製の外部送風機型人工乾燥装置を輸入し、その後、戦後の昭和24～25年ごろに、現在のI.F.型人工乾燥装置に近い装置が東京深川に出現するなどの経過を経て今日に至っている。この間、木材の種類は大別して国産広葉樹材から南洋産広葉樹材と変遷し、今日では内外産針葉樹材（建築用材）が主たる木材乾燥の対象となった感がある。表1は、このような歴史的な流れの中で、研究面でどのような課題が取り上げられてきたかを整理したものである。これらの課題の中の多くは、現在でもなお継続して研究が進められている。

#### 1.2 木材は含水率何パーセントまで乾燥すればよいか

日本の木造住宅の室内の平衡含水率は10～15%

表1 乾燥研究の区分と問題点（鷲見）

区分	対象テーマ	問題点
水の移動	水分拡散係数、伝導度、乾燥速度、平衡含水率	樹種特性
物性の変化	収縮異方性、乾燥応力、落ち込み、クリープとセットAE、狂い、割れ	物性と損傷 損傷の原因と防止対策
乾燥スケジュール	薬品、減圧、高温、マイクロ波 国産広葉樹材 → 南洋産広葉樹材 → 針葉樹材 コンディショニング、イコーライジング 天然乾燥、予備乾燥、太陽熱利用乾燥	操作の自動化（コンピュータ） 太陽熱乾燥装置の標準化 除湿式乾燥装置の標準化 スケジュールの改良 特殊形状材のスケジュール
乾燥装置	人工乾燥装置の設計・改良・省エネ化	省エネ化機器の開発 装置の性能評価
乾燥材の材質	材色、強度、セルロース・ヘミセルロースの吸脱湿性 能、結晶化度	基礎材質と損傷 損傷のコントロール

表2 使用場所による木製品の含水率と乾燥室での仕上げ含水率

使用場所および用途	使用中の木製品の含水率（%）	乾燥終了時の試験材含水率（%）	加工時の含水率範囲（%）
アメリカ西部向け家具	6～8	5	5～7
冷暖房される室内家具	8～10	7	7～9
一般家庭家具	11～15	10	9～14
機器箱	8～12	8	8～10
一般建築材	12～20	17	15～22
ビルディング内装材	8～11	8	8～10
運動具	10～15	10	9～14

(日本木材加工技術協会乾燥テキスト)

程度で、冷暖房が完備された室内ではこれより2～3%低めになる。したがって、室内で使用される木製品用材は、平衡含水率に近い含水率まで乾燥されていることが望ましい。建築用材にあっても同様に考えるべきである。表2は（人工）乾燥で仕上げるべき含水率の目安を用途別に示したものである。また図1は、永年住まれていた木造家の柱の含水率を測定した結果例である。

建築用材の場合、理想的な含水率にまで乾燥することはコスト面で難しいことが多い。十分な乾

燥ができない場合に、どの程度までなら住宅の性能に悪影響を及ぼさず許容できるか、という基準を定めることも簡単ではない。

### 1.3 最近の人工乾燥設備における傾向

昭和59年に林野庁林産課が人工乾燥装置の設備状況を全国規模で調査した。この調査では楽器、家具、一部木工の各業種を調査対象からはずしたため、全業種全体を把握し難い。このため、各種の情報をもとに鷲見が推定、補正を加えて整理し

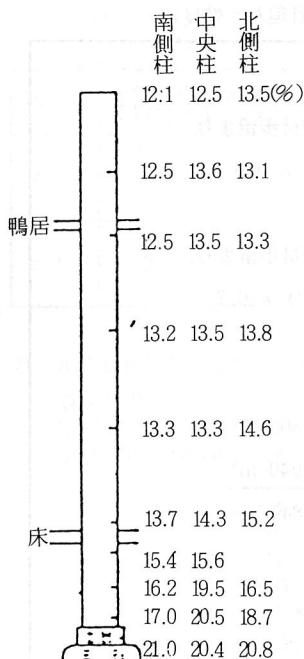


図1 木造家屋の柱材の平衡含水率（寺沢・筒本）  
(東京目黒、スギ10cm角)

た結果を表3に示す。同様の調査を昭和46年にも林試と林野庁との共同で行っている。前回の結果と今回の結果を比較すると、製材、集成材などの業種で設備の伸びが著しいことがよくわかる。また前回にはなかったプレカットという業種が、今回の調査の中で現れてきているのが特徴的といえる。調査内容を子細に分析してみると、製材やプレカットの業種で設備される人工乾燥装置の多くは除湿式（ヒートポンプ方式）の装置であることが知られる。換言すれば、建築用針葉樹材の多くには除湿乾燥装置が適用されているということがうなづける。

今回の調査結果をもとにして、人工乾燥装置の普及度を試算すると表4のようになり、広葉樹材、針葉樹材あわせての平均で約19%となる。このことは、約80%の製材品は人工乾燥が必要でありながら人工乾燥されず、単に天然乾燥の状態か生材の状態のまま出荷され市場に流通していることを示している。

表3 人工乾燥施設調査（昭和59年、林野庁……補正：鷺見）

業種	企業数			乾燥室 (補正值含む)		1室当たり の平均収容 材積 (m³)
	前回 (昭46)	今回 (昭59)	今回 補正值 <sup>a)</sup>	室数	収容材積 (m³)	
製材	104	367	367 <sup>b)</sup>	862	15,260	17.7
集成材	54	135	135	420	7,995	19.0
フローリング	87	64	64	310	5,640	18.2
家具	357	10	300 <sup>c)</sup>	847	12,705	15.0
建具	29					
木工	34	164	164	580	8,700	15.0
木製品、キャビネット	68					
木材乾燥	25	17	17	66	1,355	20.5
楽器	11	0	10	220	3,300	15.0
住宅、プレカット	0	10	10	17	400	23.5
学校、研究所	60	0	70 <sup>d)</sup>	96	288	3.0
その他	144	33	120 <sup>e)</sup>	317	3,170	10.0
合計	973	800	1,257	3,735	58,813	平均 15.7

注 a) 家具、楽器は調査対象外のため補正（推定） b) 純増

c) 家具専門は減少し、一部は木工、木製品へふり代わり（推定）

d) 調査対象外のため補正（推定） e) 他業種にふり代わり（推定）

(参考) 昭和46年調査結果（調査もれ補正後の数値）

乾燥室数 3,993室、収容材積 44,400m³、普及率 16.4%

表4 人工乾燥装置の普及度の試算（昭和60年2月現在、鷲見）

(1) 木材（製材品）の需要量（1982年の統計）
国産材 南洋材 製材歩留まり
広葉樹材： $(2,630,000 \text{ m}^3 + 3,798,000 \text{ m}^3) \times 0.6$
$= 3,856,800 \text{ m}^3$
国産材 外材 製材歩留まり
針葉樹材： $(17,315,000 \text{ m}^3 + 20,319,000 \text{ m}^3) \times 0.7$
$= 26,343,800 \text{ m}^3$
(2) 人工乾燥を必要とする材積
広葉樹材： $3,856,800 \text{ m}^3 \times 1.0 = 3,856,800 \text{ m}^3$
針葉樹材： $26,343,800 \text{ m}^3 \times 0.8 = \underline{21,075,040 \text{ m}^3}$
$24,931,840 \text{ m}^3$
(3) 人工乾燥室の収容材積（1984年の統計）
$58,813 \text{ m}^3 \times 1.15$ (調査もれ係数)
$\div 67,635 \text{ m}^3$
(4) 人工乾燥室の用途内訳と収容材積
広葉樹材用： $40,581 \text{ m}^3$ (60%)
針葉樹材用： $27,054 \text{ m}^3$ (40%)
(5) 人工乾燥室の年間乾燥能力
広葉樹材用： $40,581 \text{ m}^3 \times 2.5$ 回転／月 $\times 12\text{月} = 1,217,430 \text{ m}^3/\text{年}$
針葉樹材用： $27,054 \text{ m}^3 \times 4$ 回転／月 $\times 12\text{月} = 1,298,592 \text{ m}^3/\text{年}$
(6) 人工乾燥装置の普及率
広葉樹材用： $1,217,430 \text{ m}^3 \div 3,856,800 \text{ m}^3 \times 100 \div 31.6 \%$
針葉樹材用： $1,298,592 \text{ m}^3 \div 21,075,040 \text{ m}^3 \times 100 \div 6.2 \%$
平均 $18.9 \%$

#### 1.4 人工乾燥コスト

人工乾燥に要するコストは、乾燥法の種類、装置の性能、規模、木材の種類、初期含水率、仕上げ含水率、その他の要因で大幅に異なるので簡単には算定できない。いまスギ、ヒノキの柱材(11cm角)の乾燥コストについて、無理を承知で算出すると表5のようになる。現在のところ柱角については乾燥コストが製品価格に上乗せできないこ

とや、人工乾燥することによって生じる割れや変色などの問題、乾燥後の二度挽きに要するコストの問題など、難問が多く残されている。現在でこそ、家具、集成材、フローリングなどの用材は人工乾燥するのが当然と考えられるようになっていはるが、かつてはこれらの材料でさえも乾燥費がなかなか取れない時代があった。針葉樹建築用材の乾燥経費については今後の重要な課題であろう。

表5 11cm柱角を含水率20%（含水率計）以下に  
乾燥するのに要する経費概算

樹種	全乾法による推定 平均含水率（%）	乾燥法	所要日数（日）	乾燥経費（円/m <sup>3</sup> ）
スギ	25～45	除湿	15	8,600
		蒸気	10	8,900
ヒノキ	20～30	除湿	9	5,200
		蒸気	6	5,400

（農林水産省林業試験場乾燥研究室）

注 a)：設備償却、金利、管理費含まず

#### 算定基礎

- (1) 初期含水率 スギ 110%， ヒノキ 70%
- (2) 経費 蒸気式 50石×2室 (1800万円+ボイラ800万円)  
ボイラマン35万円/月+棧積み12万円/月  
燃料、電気料等 27万円/月  
単価 74万円/月、 887円/m<sup>3</sup>・日
- 除湿式 50石×2室 (1800万円)  
操作者（棧積み込み）17万円/月  
電気料等 30万円/月  
単価 47万円/月、 564円/m<sup>3</sup>・日

## 1.5 含水率の測定

木材の含水率は、全乾法による測定法がJIS・Z2101に示されている。正確な値は全乾法によらねばならないが、一般の生産や流通の現場では含水率計によらざるを得ないであろう。その場合、含水率計の個々の特性を十分理解しておくとともに、含水率が示す値の真の意味を知っておくことが大変重要である。

含水率計には二つのタイプがある。一つは直流電気抵抗式のもので、木材の電気抵抗値が含水率の変化とともに変わる性質を利用したものである。通常、木材との接触部（電極アタッチメント）は針状で、これを木材に打ち込んで測定する。測定深度は針の長さまで、表面から5～7mmの深さまでの最大含水率が表示される。含水率約20%以下の測定値は比較的正確であるが、これより高い含水率域での測定値は信頼度が低い。食塩など電解質を含む木材や20℃以上の材温のものでは実際より高めに含水率が表示される。もう一つは高周波誘電率（容量）式で、含水率によって木材の電気容量が異なることを利用したものである。誘電率とは木材と空気の電気容量比である。電極は通

常押し当て式のものになっている。市販の含水率計の測定深度はカタログでは4～5cm程度になっているが、実際にはせいぜい1～2cm程度で、この厚さの層の平均的な値が表示される。誘電率は木材の比重に著しい影響を受けるため、測定する際は比重合わせが必要である。しかし、現場で正確な比重を知ることは容易ではない。抵抗式の針によるきず穴を嫌う場合には、高周波式を用いることになる。

図2、3は、スギ、ヒノキの柱材を各種含水率計で測定したものである。ヒノキ材は木材内部の含水率傾斜が小さいので、高周波式含水率計の値と全乾法の値は比較的近似しているが、スギ材の黒心材では両者の差違はきわめて大きい。その他の樹種、たとえばトドマツ、モミなどの水食い部分でも、計器の測定値は誤差が大きくなろう。

## 2. 将来に向けて

### 2.1 木材乾燥技術における新しい試み

木材乾燥技術の向上を目指す中で、従来から各種の試みが行われてきた。その内容を三つに大別することができる。すなわち、省エネルギー化、省力化および省資源化である。これら各種の試みの一部にはすでにある程度目的が達せられたものもあるが、多くは今後さらに研究の継続が必要なものといえる。

#### 1) 省エネルギー化への試み

この課題としては、高温度スケジュールの採用、ジェット送風方式の採用、プリサーフェンシング処理、初期蒸煮処理などによる乾燥時間の短縮、風量制御機採用によるファン動力費の節減、

### 木材乾燥の将来展望

1 (やや黒心)

10	13	14	13	10
14	23	23	19	13
18	32	33	24	15
19	34	26	21	15
12	17	13	15	10

平均 18.1%

K社高周波式 9.7 (7.7~14.0) %

2 (黒 心)

13	16	18	17	13
18	29	74	70	20
20	81	188	180	40
18	92	67	180	55
14	20	17	45	28

平均 53.3%

16.4 (12.7~20.7) %

3 (赤 心)

11	12	13	13	10
13	19	20	19	13
14	19	17	19	14
14	18	13	17	13
11	13	11	12	10

平均 14.2%

8.7 (7.9~9.9) %

(黒心) S 29—3

↓ 9~10mm ↑	19.9	21.7	23.2	23.1	19.3
	23.6	25.2	28.1	26.4	23.7
	32.2	37.2	44.0	33.3	23.8
	51.5	117.7	123.0	38.6	28.0
	89.7	150.8	183.8	82.7	29.5
	132.3	177.2	196.7	105.9	28.1
	130.0	191.2	202.3	158.4	28.2
↓ 25~26mm ↑	139.3	189.9	189.8	70.1	
	90.4	134.7	139.5	37.8	

平均 105.8%

モコ:27.9%, ワカール:28.8%  
デルタ:27.0%, 抵抗式:25.5%

17.2	17.1	17.3	18.6	16.4
19.1	22.9	22.5	22.3	18.8
21.2	26.2	31.7	30.7	21.7
24.3	33.1	115.0	115.8	38.7
32.1	85.7	191.3	178.7	112.6
28.7	117.6	198.9	198.7	112.8
26.8	141.1	192.3	197.8	111.1
48.4	187.5	186.6	115.0	
22.6	114.8	137.0	82.9	

平均 82.9%

モコ:24.6%, ワカール:19.5%  
デルタ:20.3%, 抵抗式:20.8%

13.4	15.1	14.7	14.4	13.3
17.4	22.3	21.5	19.6	15.9
20.9	32.4	29.1	23.1	17.9
43.8	150.9	102.8	28.9	19.7
94.8	180.7	176.1	54.1	20.1
88.5	197.1	204.4	120.2	22.3
105.6	197.6	195.2	149.1	22.0
114.9	187.6	181.2	34.1	
64.4	100.8	65.2	18.3	

平均 85.8%

モコ:18.4%, ワカール:17.3%  
デルタ:17.0%, 抵抗式:16.7%

(赤心) S 42—3

17.8	22.5	21.4	19.1	18.7
21.5	26.9	26.2	25.4	22.9
19.6	45.1	34.5	27.5	24.0
22.6	45.0	49.4	38.7	24.0
23.7	47.9	53.2	47.2	36.1
26.6	51.8	67.7	52.9	32.7
25.1	59.1	73.7	57.5	26.6
30.2	64.0	72.4	27.6	
25.5	34.8	31.0	21.5	

平均 39.9%

モコ:27.5%, ワカール:29.5%  
デルタ:24.3%, 抵抗式:20.7%

13.0	18.5	18.2	15.5	16.1
16.3	22.9	23.9	22.7	19.4
20.5	26.6	33.3	26.4	21.3
22.6	31.1	37.7	31.5	21.6
22.6	33.5	42.0	36.8	24.5
24.9	38.4	50.7	39.3	22.7
21.7	40.0	68.4	44.6	23.0
34.2	67.3	67.9	24.8	
23.8	28.7	30.0	20.2	

平均 26.6%

モコ:22.0%, ワカール:18.3%  
デルタ:19.8%, 抵抗式:21.2%

14.9	15.3	15.5	14.2	11.3
15.2	19.8	19.3	19.6	15.6
16.4	22.5	26.5	22.9	19.5
18.6	27.1	29.1	26.8	17.9
19.9	27.6	30.7	28.2	19.0
20.3	29.5	45.7	30.6	20.1
18.8	33.0	63.4	33.2	19.4
21.4	34.7	55.5	25.1	
17.3	20.0	21.2	18.7	

平均 26.6%

モコ:15.3%, ワカール:14.6%  
デルタ:12.9%, 抵抗式:14.9%

注) モコ、ワカール、デルタは高周波式含水率計

図2 スギ 12cm柱除湿乾燥材の含水率分布

(農林水産省林業試験場乾燥研究室)

	1	2	3
12	19	19	18
21	26	26	22
21	26	24	22
19	24	20	20
16	17	15	15
平均		19.7%	19.6%
K社高周波式	20.0 (17~22) %	19.9 (18~22) %	20.3 (17~25) %
K社抵抗式	12.7 (11~15) %	12.2 (11~13) %	12.3 (11~15) %

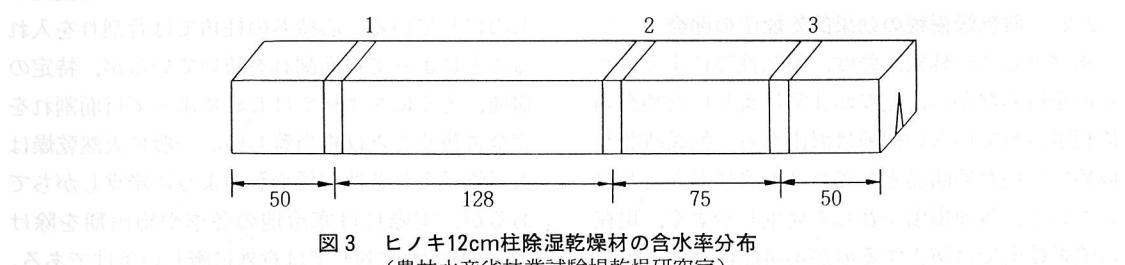


図3 ヒノキ12cm柱除湿乾燥材の含水率分布  
(農林水産省林業試験場乾燥研究室)

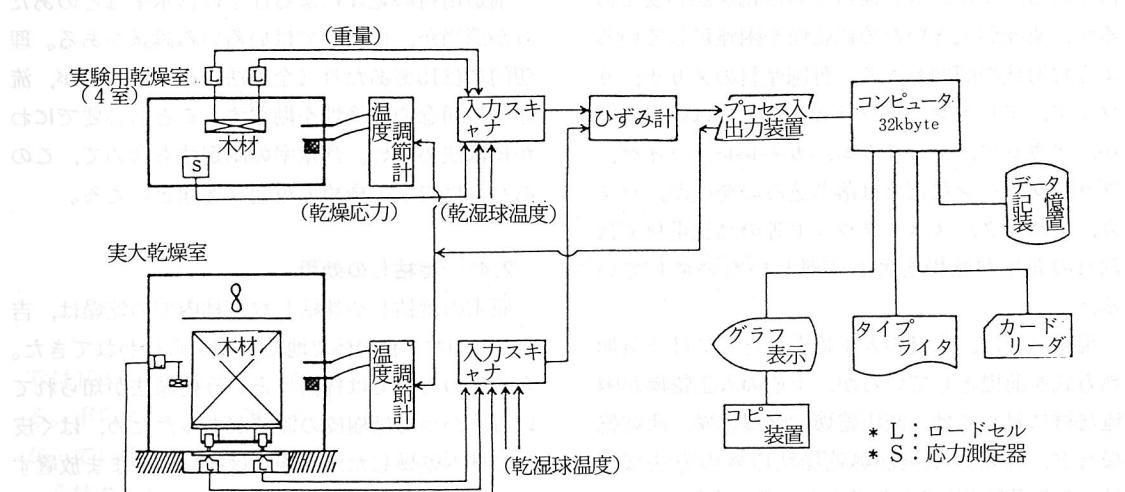


図4 装置のブロックダイヤグラム (コンピュータ自動制御)  
(農林水産省林業試験場乾燥研究室)

熱交換器設置による排出熱の回収、太陽熱や地熱の有効利用による燃料の節減等が挙げられる。

## 2) 省力化への試み

この分野では人件費の節減を目的とし、乾燥ス

ケジュールの単純化、乾燥室のコンピュータ制御方式化が主要なものである。このうちコンピュータ制御に関しては各方面からの関心も高いが、木材乾燥に適するセンサの開発が急務といえよう。

現在センサとして考えられそうなものにロードセル、応力測定器、含水率計、AE、導電塗料などがあるが、いずれも実用化までにはさらに研究が必要である。図4はロードセルを用いた研究施設の一例である。

### 3) 省資源化への試み

ここでは貴重な木材資源を有効に利用するのがねらいで、乾燥割れや狂いなどをできるだけ防いで、限られた資源を効率よく利用する試みが相当する。PEG処理、棧積み材の緊締操作などの研究が行われている。

## 2.2 難乾燥樹種の効果的乾燥法の開発

木材としては外観、強度、耐久性等にすぐれたものを持ちながら、乾燥が非常に難しいため有効に利用されていない樹種は沢山ある。乾燥時間が極めて長いため商品としてコスト的に引き合わないものと、各種損傷が著しく発生しやすく、現在の乾燥技術では防止するのが不可能に近いものが含まれる。また、薄い板材ならば乾燥が容易であるが、断面が大きいため乾燥を困難にしているような形状の問題もある。外国産材のメリナ、リツェア、アピトン、パロサピスなどでは乾燥時間が、アカシア、マンギウム、カメレレ、コイゲ、ブラックビーンなどでは落ち込みの発生が、バチカ、レサック、スネークウッド等の高比重材では割れの発生が乾燥を著しく難しいものにしていく。

現時点では、木材の人工乾燥法としては空気加熱方式を前提としているが、上述の人工乾燥が困難な材に対しては、減圧乾燥、除湿乾燥、凍結乾燥など、通常の空気加熱乾燥法以外の方法ならば、ある程度解決できる場合もあるかも知れない。このような新しい視点からの乾燥法の開発が今後の課題といえよう。

## 2.3 建築用大断面材、柱角等の乾燥

各種木製品用広葉樹材や針葉樹材の集成材ラミナ、敷居、鴨居などの内装材では、早くから人工乾燥の必要性が認識され実行されてきている。針

葉樹の構造用材についても最近とみに人工乾燥への関心が高まっているが、その実行には難しい点が多くある。断面の大きな構造材の人工乾燥でしばしば問題になっている点は、乾燥時間が意外に長く、乾燥コストを価格に反映しにくいくこと、材面に割れが生じやすいうこと、材色が悪くなること、材が硬くなることなどである。ベイマツ、ベイツガなど輸入外材の製材品の大半は心去り材であるのに対し、ヒノキ、スギ、アカマツ、カラマツなどの国産材の製材品は原則として心持ちである。このため、国産材の構造用材の人工乾燥では材面割れが生じやすく、乾燥を一層困難なものにしている。心持ちの柱角では背割りを入れることによって材面割れを防いでいるが、特定の樹種、とくにスギ材ではこれによって材面割れを完全に防ぐことは相当難しい。一般に天然乾燥は人工乾燥より条件が穏やかのように錯覚しがちであるが、実際には寒冷地の冬季や梅雨期を除けば、乾燥割れに対しては意外に厳しい条件である。

構造用材の乾燥による仕上げ含水率はどのあたりが適当か、についてはいろいろ論議がある。理想的には15%あたり（全乾法）を考えたいが、流通上の通念や経済性を勘案することも必要でにわかには決め難い。含水率の測定法も含めて、このあたりは現下の極めて重要な課題といえる。

## 2.4 葉枯しの効用

原木の葉枯しや巻枯しなど林内での乾燥は、吉野や秋田など有力林業地で古くから行われてきた。大分県の日田では林掛けという乾燥法が知られている。かつては樹皮の需要があったため、はく皮して林内乾燥したが、現在は皮付きのまま放置するようになっている。葉枯しすると初期含水率が低くなることはよく知られているが、その他、色つやが向上するとしてその効用を高く評価する地域と、全く逆の評価をする地域とがあり、色つやについてははっきりしない点が多い。図5は4月に伐倒して葉枯したヒノキ、スギ原木の乾燥経過図である。約50日間の放置により、ヒノキ材では初期含水率60~80%のものが40~50%に、スギ

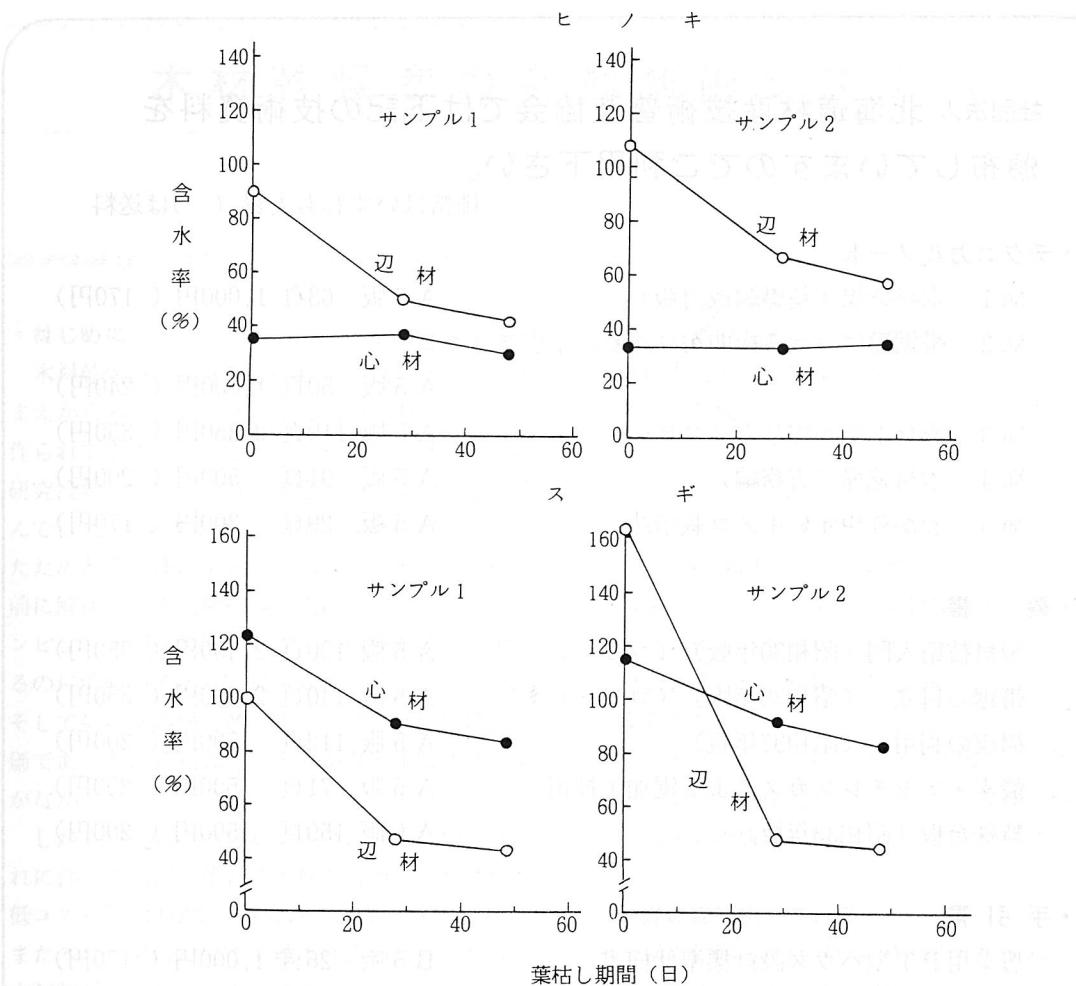


図5 葉枯し材(80年生)の林内乾燥経過(鷲見)  
(大子宮林署管内61年4月上旬葉枯らし開始)

では100~200%のものが50~80%に低下している。重量で考えると伐倒直後の重量の70~80%になっているので集運材面でも有利になる。

心持ちの柱角では心材部が断面の大部分を占めるので、主として辺材部が乾燥する葉枯しはあまり有利でないようにも考えられるが、製材品の人工乾燥コストはズブ生材に比して30~40%減程度は見込めそうである。なお、夏季から秋季にかけての葉枯しでは、春季よりも乾燥が進行する。

### おわりに

木材の乾燥は木材加工の分野で極めて重要な位置を占め、古くから実行されてきている。しかし、乾燥という仕事の出来映えは、材料の種類や技術者の技量に負うところが大きく、このことが木材乾燥の普及を阻害してきたともいえよう。これまでの話から現在木材工業にたずさわっておられる諸兄に対して、何らかのヒントを示すことができれば望外の喜びである。