

# 北米の広葉樹乾燥（１）

～適切な乾燥方法の模索～

信 田 聡

本文は北アメリカにおける広葉樹乾燥法の概要と特に低温乾燥法の一つであるプリドライヤーの利用に関して、1982年に行われたプリドライヤー利用のシンポジウムにおいてバージニア州立大学のWengertおよびLamb両博士が使用したテキストを翻訳、加筆したものである。

## 1. はじめに

今までにも過去25年にわたり様々な乾燥法・装置を経験してきたが、現在また新しい乾燥法に対する興味が突然沸き起こってきたのはなぜであろうか？その背景には4つの理由があるように思う。

1) 製材価格の高騰、およびそれに伴い高価な製材を在庫する場合の金利増加による在庫のコスト高。

2) 使用可能な製材の品質は低下しつつあること。まだ丸太から思うような品質の製材を木取る余地はわずかに残っているが、妥当な値段で購入できない状況になっている。NO.1コモンやベターグレードはもはや“ベター”とはいえない状況である。

3) 多くの無欠点材あるいは役ものを取れる優良大径木の供給が減ってきていること。このような原木を得るには今後150年は必要であり、現在では、もはや入手できない。

4) 欠点を多く含む製材品が多くなってきていること。以前には製材しなかった大径木の辺材部からもやむ無く製材するため、得られる材は時として乾燥等により品質低下を招く危険をはらんでいる。

以上の4つの理由から業界では、厚さ1～2インチの板材を対象とする、より速く、より高品質に仕上がる乾燥法を模索している。

## 2. 商業用の製材乾燥システム

業界で使用可能な製材の乾燥法には5つの方法がある。すなわち、天然乾燥、送風乾燥、低温乾燥、中温乾燥、高温乾燥である。これらの乾燥法についてその内容を紹介してから、プリドライヤー（低温乾燥法の一つ）についてこれらの乾燥法と対比して述べることにする。

### 天然乾燥

天然乾燥は屋外に製材を設置して、その環境の支配のままに乾燥する方法である。写真に良好な天然乾燥の棧積み、および様々な用途に使用される天然乾燥土場の写真（原図が不鮮明なため日本の一例を掲載した）を示した。天然乾燥の詳細はしかるべき本（“天然乾燥；その業界への応用の



良好な天乾土場と棧積み風景  
（北海道における一例）

手引” , USDA Ag . HANDBOOK , No . 402 ) を参照されたい。

天然乾燥をする目的はなんであろうか? 一般には、4つの目的があるように思う。

(1) 製品の中には単に乾燥してあれば良いというもの(家具やディメンションランパー工場では使用できない)もあり、このための乾燥法として適している。

(2) 製材を船で出荷するだけが目的の工場では、天然乾燥によって製材の重量を50%軽くすることができるので、これは非常に有効である。しかし、多くの工場でこれだけを目的としているのではない。

(3) 人工乾燥の前の予備乾燥として天然乾燥を行う。とくにディメンションランパー(北米では公称厚さ2インチ以上、5インチ未満、幅2インチ以上の針葉樹で材面が寸法加工されている構造用材をこう呼んでいる)を生産する工場でも重要な目的となる。人工乾燥前に天然乾燥することには、いくつかのメリットがある。すなわち、あらかじめある程度乾燥してある材を人工乾燥するので、生材を乾燥するよりも乾燥時間が短縮でき人工乾燥室の生産性(回転)が増加する。さらに、このことは乾燥室の省エネにつながる。

(4) 天然乾燥の土場は在庫の集積場の機能を合わせ持っている。将来の注文の予測が立たない場合(注文の多くは少量のオーク、イエローポプラであるが)、天然乾燥の土場を注文に備えるための在庫の集積場として使用する傾向がある。不運にも、これは在庫の過乾燥、品質の低下を招く原因となっている。したがって、これは天然乾燥の目的の一つではあるが、非常にコスト高の原因になる。

天然乾燥の要点は多くあるが、例えば、製材は地面から少し空間を開け高いところに積み上げる(写真)。積み上げの上部にはカバーあるいは屋根を設ける(屋根等は上部の数層の材の品質保護には効果があるが下部の材の保護にはそれほど効果はない)などがあるが、これらについては、よく守られている。

天然乾燥の特徴について述べると、

(1) 天候に左右される。寒冷な気候ではあまり効果がない。

(2) 労力が少なくすむ。人件費が高い場合には魅力ある特徴である。

(3) エネルギーが少なくすむ。

(4) 生材の乾燥を考えると人工乾燥に比べ乾燥コストは非常に安価である。

(5) 過乾燥になると天然乾燥材は品質低下が著しくなるリスクがある。換言すれば、あまり長期間天然乾燥すると品質が悪くなる。この点は天然乾燥においてしばしば見落とす重要なことである。

天然乾燥は天候まかせの乾燥ではあるが、幾分は乾燥の調整ができる。その調整の方法は、

(1) 各々の積み間隔を離しておく。こうすれば乾燥が速まる。

(2) 積みの中の位置を変える。すなわち、土場の中央あるいは東側よりも西側の方がしばしば速く乾燥する。

(3) 積みの幅、木の厚さ、土場の表面状態、屋根の設置などにより乾燥の速さが調整できる。つまり、積みの幅は狭い方が速く乾燥し、木の厚さは厚い方が速く乾燥する。また、土場は水はけが良い、黒っぽい色である方が乾燥は速い。

こうした天然乾燥のテクニックを駆使すれば、わずかではあるが、天然乾燥の調整はできるが、乾燥中に品質の低下が生じる危険性は依然として残る。

#### 送風乾燥

天然乾燥では不十分であるとすれば、なにがこれに替わるであろうか? その代替乾燥法としてあげられるのは送風乾燥である。これは、積み材を小屋に入れ、背面の壁にいくつかのファンを設け送風して乾燥を行うものである。これをシェドファンドライヤーと呼んでいる。ファンによって積み内を風が通過して乾燥を促す。送風乾燥では、天然乾燥に比べて2つの進歩した点がある。

すなわち、

(1) 製材の品質を悪化させる原因となる雨滴

がかからないこと、

(2) 品質が安定しているので一定の流通相場が保証できること、

である。雨滴から材を保護することによって乾燥しすぎるリスクを除くことができる。また、材を送風乾燥機内に6ヵ月あるいはそれ以上入れておいても(実際にはそんなに長く入れないが)、天然乾燥を6ヵ月行った場合よりも品質の低下は少ない。

その他、送風乾燥の特徴は、

(1) 一日中乾燥が進むことである。もちろん非常に寒かったり、霧が深い日には、乾燥は進まないが、晴れた春の日には24時間乾燥は進む。

(2) 含水率20%まで乾燥することが非常に簡単であること。含水率20%にこだわる理由は2つある。一つは、1インチ厚さの材を含水率20%まで乾燥すると、後の人工乾燥では損傷が発生しにくい。もちろん、材が再び濡れる状態(スチームスプレイをかける、雨に濡れる、スプリンクラーの水がかかるなど)におかれる場合はその限りではないが、二つめは、含水率20%にしておけば、そのまま加熱装置のない小屋の中に数年保管することができる。その場合にも変色、腐朽、カビといった危険にさらされることがない。さらに狂いも少ない。すなわち、材が保管中に水分を吸って含水率が増加しない程度の湿度90%以下にしておけば、材は安定している。したがって、含水率20%というのは品質保持、保管の両面から考えて理由のある値である。

(3) 棧積みのだこの位置の材も仕上げり含水率が均一にそろうこと。これは、以後の人工乾燥において乾燥時間が短くなることを意味している。つまり、天然乾燥では、乾燥材の含水率のバラツキが大きく、棧積みの上部の材は下部の材よりも10%程乾燥が進んでいる。また、棧積みの内部の材は外周部の材よりも10%乾燥が遅れている。仕上げり含水率の変動がこのように大きいと、この材の人工乾燥には特別な注意が必要になってくる。一方、送風乾燥は天然乾燥より仕上げり含水率がそろうので、人工乾燥に移した場合でも乾燥材の

仕上げりはそろうことになる。乾燥室内に含水率の高い材が混入しているために起こるトラブルは実際面では案外多い。例えば、接着して集成したパネルを人工乾燥する時には、その中に一枚でも高い水分の部材があれば、乾燥中にその材が木口割れを起こし、パネルが不良品となってしまう。含水率が不ぞろいであるということは、あとあとの処理を考えると不経済なことである。

(4) 送風乾燥ではファンの運転のために電気代がかかること。電気料金は千ボードフィート(MBF:2.36m<sup>3</sup>)の製材を含水率1%低下するために約24円(15セント:1ドル=160円として)であるが、これは天然乾燥に比べ送風乾燥の品質低下が少ないことによる利益の差を考慮すると決して高くはない。

(5) 棧積みにも多少技術を必要とする。

(6) 天然乾燥と同じく天候にも多少左右される。

(7) オーク材の乾燥を行っている工場では周知の事実だが、過度の送風は乾燥初期に表面割れを誘発する恐れがある。したがって、オーク材に対しては天然乾燥よりも送風乾燥の方が品質低下が大きくなることもあるのであまり勧められない。

(8) イエローポプラ、その他針葉樹などの乾燥が容易な樹種には向いている。これらの樹種では2~3週間で乾燥ができる。乾燥コストはそれほど高くなく、千ボードフィートの材の含水率1%を低下させるのに約40円(25セント)かかり、そのうち最も大きな割合を占めるのはファンの電気代である。

#### 低温乾燥

乾燥法としては基本である天然乾燥について述べたが、さらに洗練された乾燥方法について調べてみよう。

低温乾燥はその一つだが、この乾燥法の定義は“華氏130度(54.5)以下の温度を使用して乾燥する方法”である。実用に供している低温乾燥装置またはプリドライヤーの使用温度範囲は27~43である。

天然乾燥では、あまり細かく乾燥条件を制御で

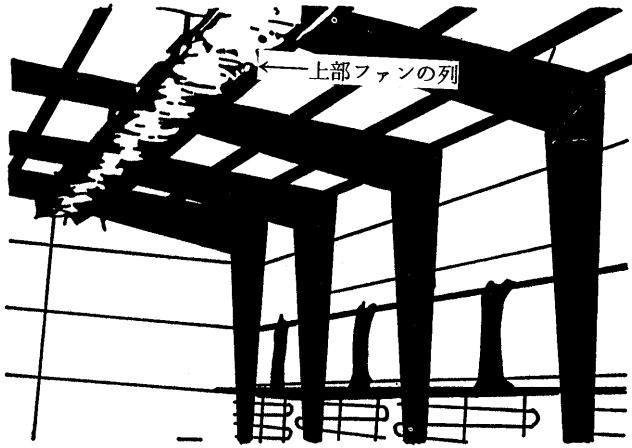


図1 プリドライヤーの骨格  
(上部にファンが並ぶ)

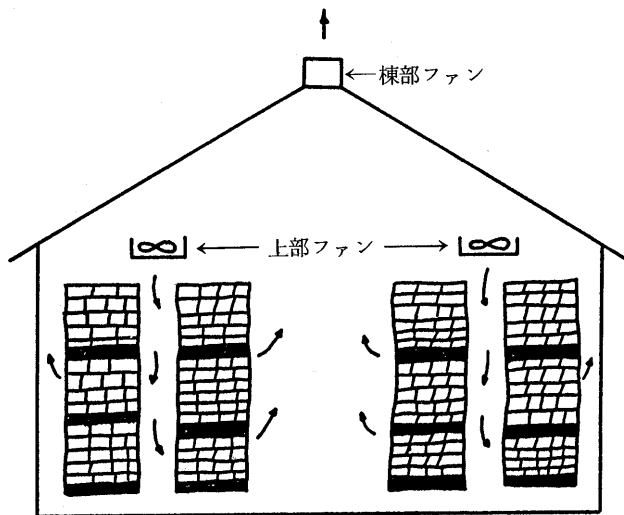


図2 プリドライヤーの断面スケッチ(風の流れ)

原理は同じである。製材の乾燥に関する限りは共通点が多い。おおまかに言って、年間の材処理量が10万ボードフィート(約236m<sup>3</sup>)以下の比較的小さい生産規模については、ソーラー乾燥装置が適している(図3参照)。それ以上の規模の生産を行う場合には、他の装置を選択する方がよい。

#### 除湿式乾燥装置

年間百万ボードフィート(約2360m<sup>3</sup>)以下の生産規模を考えると除湿式乾燥装置が適している。除湿式乾燥装置の構造は骨格に2×8インチ材による枠組みを用い、面材として合板(シルバーライナーと呼ばれるコーティング材が塗布してある)を張るものが多い。壁天井には断熱材が挿入されている。使用する合板は外装用を用いるが船舶用グレード程のものは必要ではない。合板の接合にはステンレス釘を使用し、錆の出にくい仕様とする方がよい。除湿式乾燥装置の概要(原図の写真が不鮮明なためカナダの某社の装置の図面を掲載した)を図4に示す。

除湿式乾燥装置の乾燥原理を簡単に述べると、まず、除湿機では、乾燥室内の湿った空気がコンプレッサー(コンプレッサーはエアコンや冷凍機のようなもので、正確にはヒートポンプとして働き熱を移送する)の冷却コイルを通過する。この時空気中の水分がコイル面に凝縮して除

湿され湿度が低くなる。次に、除湿された空気は、コンプレッサー内のホットコイルを通過する。この時に、空気は加熱される。事務所等のエアコンではホットコイルは室外に設置され熱い空気が室内に再び流入しないようになっているが、除湿式乾燥機の場合には、熱を再利用するために除湿機は室内に設置される。こうして冷却コイルとホットコイルの間で除湿機は気化熱を循環させる。しかし、寒い季節には、ホットコイルによる再加熱では不十分であるため、補助熱源が必要になる。

低温乾燥装置には3つのタイプがある。  
 (1) 熱源として電力を用いた除湿式乾燥装置  
 (2) 太陽熱を使用したソーラー乾燥装置  
 (3) 蒸気加熱を用いたプリドライヤー(ウェアハウスドライヤー: 図1.2参照)  
 であるが、それぞれの構造は異なるものの、乾燥

きないが低温乾燥では、温度、風速、湿度が制御できる(種類によっては湿度の制御ができないタイプもある)。つまり、天然乾燥に比べれば洗練された乾燥法である。

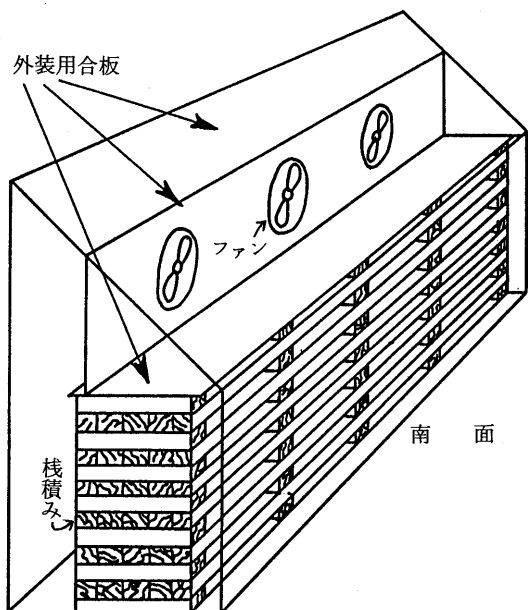


図3 ソーラー乾燥装置  
(小規模経営に効果的)

湿度の低い空気は最終的に加熱され、乾燥室にもどされ材の乾燥を行う。このサイクルは非常に省エネルギーになるが、電力を使用しているのやはり他の燃料に比べてコスト高となる。

**プリドライヤー**

図2にはプリドライヤー(ウェアハウスタイプ)の断面のスケッチを示した。この装置の特徴は、大量の製材を大規模な建物(倉庫)に入れて、排気ファン、加熱コイル、その他の設備により乾燥するものである。くわしくは次回に述べる。

**中温乾燥**

この乾燥法は、通常の人工乾燥法にあたり、温度は43~88を使用する。低温乾燥と中温乾燥では、扱う材が難乾燥材の場合には、使用するスケジュール、操作は似通っている。これらの材の乾燥は、初期に低温で乾燥し、割れの危険が無くなった時期から温度を上昇させて乾燥する。すなわち、中温乾燥も材の品質保持を考えると低温乾燥と同じ操作をする。

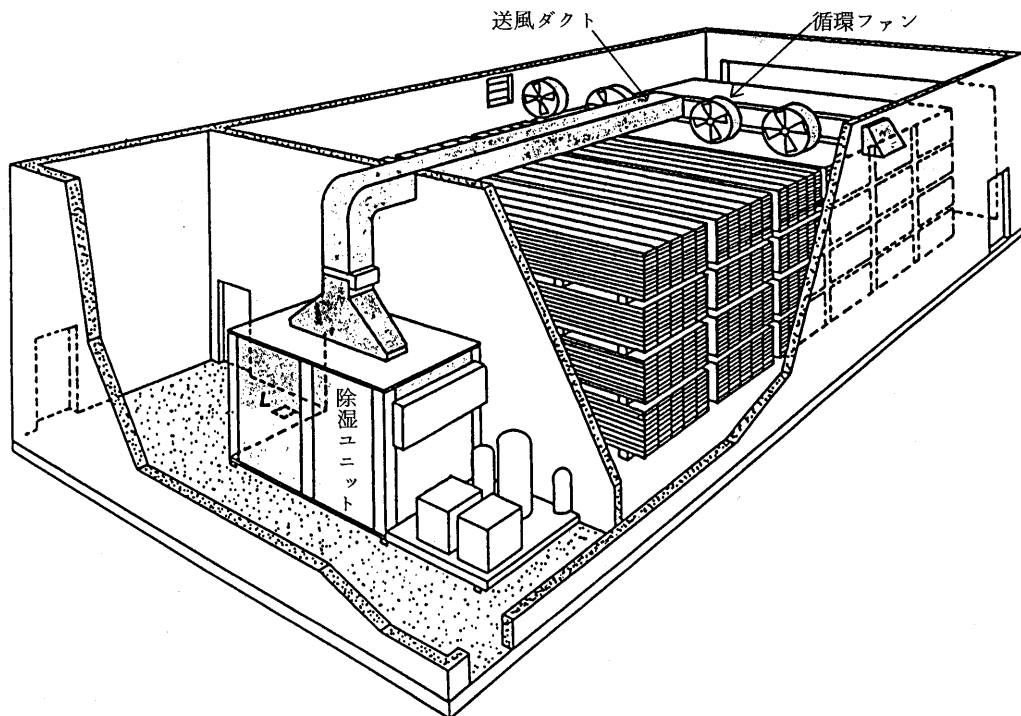


図4 除湿式乾燥装置(カナダのU社のタイプ)

中温乾燥の大きなメリットは、この乾燥法に関する経験と研究の蓄積が多いことである。したがって、乾燥問題に対する対策がすぐできること、乾燥スケジュールが豊富でどのような樹種についても準備されていること、などから比較的安心して採用できる。

乾燥室のタイプには、2種類ある。すなわち、トラックタイプ(ト口線と台車が付いている)とパッケイジタイプ(そのままフォークリフトで作業できるようにパレットの上に材がパックされている)である。パッケイジタイプが多いが、トラックタイプは乾燥室内の空気の流れの面では勝っている。生材を乾燥するには、空気の流れがスムーズなことが効果があるのでトラックタイプが向いている。一方、天然乾燥材の乾燥にはパッケイジタイプが適している。しかし、入れる材の含水率が高くなるほど性能は落ちてくる。

コスト面では、蒸気、電気、人件費が大きなウエートを占める。また、中温乾燥では、水分蒸発のためにエネルギーを多く使用する。

### 高温乾燥

5番目の乾燥法は、高温乾燥である。高温乾燥で使用する温度は100以上である。100以上で乾燥することは、言いかえると木材の水分をじわじわと拡散によって乾燥に導くのではなく、水分が沸騰するような勢いで木材からおしだされるようにして乾燥する方法である。

また、高温乾燥では、非常に大きな風速を採用する。ある研究では、15.2m/s以上の風速で高温乾燥したが、これでも、そよ風程度であるとしている。

湿度の制御はたいいていは吸排気筒により行い、スチームスプレイによる湿度の制御は一般に行わない。

高温乾燥のメリットはなんであろうか?それは、中温乾燥に比べ50%もエネルギーが節約できることであろう。また、乾燥時間も1/5に短縮できることである。さらに積積みが良好であれば狂いも少ないことである。積積みが悪い(積木の入れたの善し悪し)とかえって狂いは大きくなる。

これは、曲げ木を作ることを考えれば理解できる。すなわち、曲げ木は高温、高温条件下でつくるが、この条件はまさに高温乾燥の条件である。

高温乾燥は非常に魅力があるが、一方、温湿度条件が過酷であること、耐蝕塗料を塗布したどんな金属でも著しい腐食の恐れがあること、また、スケジュールが樹種別に十分そろっていないこと、材色の変化が著しく、材は焼けたような褐色になること、とくに、材の本来の色が、淡い場合には顕著であり、プレーナをかけることにより取り除くことができることもあるが、かなり全体的に深く入ることが多い、ことなどから採用するのにためらいもある。

また、高温乾燥は、急速乾燥でもあるので急速な加熱を行うための大容量の加熱システムが必要である。乾燥時間の例をあげれば、サザンパインは18時間以内、アスペンは60時間以内、スイートガムは24時間以内、イエローポプラは18時間以内と、非常に速い乾燥ができる。

### 3. 業界向けの乾燥システム

以上の5つの乾燥法を結びつけると8つのシステムが考えられる(表)。例えば、低温乾燥と中温乾燥を合わせて、乾燥初期は低温で末期には中温で乾燥する。または、低温乾燥と高温乾燥を結びつけるシステムなどである。

オーク(ナラ)とビーチ(ブナ)材について、これらの8つの乾燥システムを使用した場合の品質面からの評価をしてみると、天然乾燥-中温乾燥のシステムはまあまあ、あるいは勧められないことになる(歩留まり低下10%程度)。また、低温乾燥-中温乾燥のシステムは非常に適していることになる。さらに、高温乾燥のみの場合には、オークとビーチ材を生から乾燥すると歩留まりの低下が著しく、勧められない。

一方、ハードメープル、ヒッコリー、ペカンは乾燥が容易であるため、8つのいずれを採用してもおおむね良好である。とくに、乾燥初期に低温で乾燥するシステムを採用するほど良い結果が得られる。

品質向上を期待するための8つの乾燥システムの広葉樹の樹種別・厚さ別適否

乾燥システム	オーク, ビーチ		ヒッコリー, ペカン, ハードメープル		アッシュ, バスウッド, イエローポプラ, ガム, ソフトメープル	
	1インチ	2インチ	1インチ	2インチ	1インチ	1インチ
1 天乾-中温	△	△	△	○	○	○
2 天乾-高温	×	△	×	△	○	○
3 低温	◎	◎	◎	◎	◎	◎
4 低温-中温	◎	◎	◎	◎	◎	◎
5 低温-高温	×	○	×	◎	◎	◎
6 中温	△	○	◎	◎	◎	◎
7 中温-高温	×	○	×	◎	×	◎
8 高温	×	×	×	×	×	△

△:非常に適する, ○:適する, ◎:まあまあ, どちらかといえば勧められない, ×:勧められない

軟材のソフトメープル, イエローポプラ, バスウッド, アスペンはいずれのシステムでも問題はない。

このように低温乾燥は品質低下を防ぐには適した乾燥法であることは事実だが, この乾燥法を利用する場合のキーポイントは品質向上による利益が他のシステムを使用する場合よりも大きくなる

うとする品質がどの程度であるかをまず, 見定めて低温乾燥の選択を行うか否かを考えることが重要である。(次回1987年2月号に続く)

今回はプリドライヤーについて述べる。

(林産試験場 乾燥科)

のかを検討することである。それは樹種により異なるので使用する樹種も検討しなければならない。ソフトメープル, イエローポプラは低温乾燥よりも低コスト, 高品質の乾燥材を得られるシステムの選択の幅が広い。したがって, 得よ