

北米の広葉樹乾燥(2)

~ブリドライヤーについて~

信田 聡

本文は昨年12月号に引き続いて、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ブリドライヤーの利用に関して、1982年に行われたブ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、加筆したものです。今回はとくにブリドライヤーに関する記事を中心に述べる。

1. ブリドライヤーの一般的特徴

1) 低温乾燥であるため品質低下が少なく、生材を含水率20%にまで乾燥するためには最も経済的である。ただ、含水率20%以下に乾燥する場合は低温乾燥コスト(運転時のコスト)は急に上昇します。

2) 土場に抱える在庫が少なくなる。天然乾燥の $1/3 \sim 1/2$ に減少する。すなわち、低温乾燥では天然乾燥のように長期間材を固定しないので在庫の金利負担が少ない。

3) 設備費が明らかに少なくすむ。蒸気加熱式のブリドライヤー(ウェアハウスタイプ)は基礎工事を含めて1BF(ボードフィート=0.00236 m³)容量につき50セント(約3万4千円/m³)ですが、新しいデラックスタイプではもう少し高価になる。しかし、一般的なプレハブタイプの蒸気式乾燥装置では、1BF容量につき2.5ドル(約17万円/m³)の設備投資が必要なことと比べると、明らかに安価で設備できる。

4) 乾燥時間は、生材から含水率30%までを考えると、天然乾燥と比較して、およそ $1/3$ あるいはそれ以下となる。再び強調すると、乾燥時間の短縮によって在庫の金利負担が減少できる。また、乾燥時間は、通常の乾燥室による中温乾燥の場合とあまり変わらない。なぜなら、生材から乾燥する

場合は中温乾燥でも低温を使用するためである。例えば、1インチ厚のオーク材を乾燥する場合、中温乾燥では、43 付近で乾燥する。そして、ブリドライヤーでは27~43 で乾燥するため、乾燥速度は両者の間でほぼ等しい。

5) 最終仕上がり含水率は通常20%程度であるが、非常に均一化されており、天然乾燥による仕上がり含水率よりも低い含水率に仕上がる。均一化された仕上がり低い含水率に乾燥できることは後の人工乾燥において急速な乾燥ができること、省エネが図られることを意味している。乾燥時間が短縮できれば、乾燥室1室当たりの乾燥処理材積が増える(実際にある工場で調査したところ、ブリドライした材を人工乾燥すると、天然乾燥材を人工乾燥した場合よりも処理材積は2倍に増加した)。

6) ブリドライヤーの規模は通常の乾燥室のおよそ4倍である。すなわち、通常の乾燥室の容量は5万BF(118m³)なのに対して、その4倍の20万BF(472m³)になる。この比率4:1の理由は通常の乾燥室での乾燥時間に比べブリドライヤーでは4倍の時間をかけることに関係がある。もちろん、これは大まかな計算であり、規模については個々の経営状態にあわせることが大切である。

7) エネルギー消費は、同じ初期含水率の材を

乾燥する場合には、通常の乾燥室を使用するよりも少なくすむ。言いかえれば、生材の乾燥を考えると、現在の乾燥室からプリドライヤーに切り換えることが予想され、これによってトータルのエネルギー消費は削減されるであろう。

8) プリドライした材をさらに人工乾燥する場合の乾燥操作技術が簡単になる。つまり、プリドライヤーによりかなり乾燥した材が供給されるので後の人工乾燥にかかわる技術的問題点が少ない。例えば、含水率20%以下の1インチ厚の材にたいしては樹種の違いによらず基本的には1種類の乾燥スケジュールが適用できる。様々な研究機関で発表している含水率20%以下に対するスケジュールはどれもほぼ同じである。したがって、乾燥講習会へ技術者を送り研修させる必要はいらなくなり、そのかわり彼らにはプリドライヤーの操作法を学ばせるべきであろう。

9) プリドライ後の人工乾燥では使用するスケジュールが同じでよい異なる樹種を混在して乾燥できるようになる。しかし、厚さについては38mm以上は一緒に乾燥はできない。また、含水率も様々な材が混じるが、プリドライヤーで乾燥する前に、異なる含水率の同じ樹種、同じ厚さの材を一緒にするよりも、ほぼ等しい含水率を持つ異なる樹種、異なる厚さの材を一緒にして乾燥することの方が、均一な仕上がりに含水率を得るためには重要な作業となる。プリドライヤーの使命はあくまで、均一な仕上がりに含水率の材を後の人工乾燥のために供給することにある。

10) プリドライヤー運転にかかわる人件費は少なくてすむ。

11) 天然乾燥と比べて天候に左右されずに乾燥できる。したがって、乾燥計画が正確に立てられる。プリドライヤー内の材はいつ出庫できるかが予測できるため計画的に在庫の管理ができる。

12) 欠点の無い貴重材を品質の低下なく乾燥するシステムが組める。すなわち、プリドライヤーによる乾燥は材の損傷が非常に少なく、さらにプリドライ後の含水率20%以下の人工乾燥においても新たな損傷の増加による品質低下の危険は無い

ので難乾燥材(ビーチ、オーク)、品質の高い材の乾燥に最適である。

13) 乾燥が比較的容易な材の乾燥にはメリットが少ない。すなわち、イエローポプラ、ソフトメープルは、通常の乾燥法でも全く品質低下を招くことなく短い時間(3日以内)で乾燥できるので、プリドライヤーを使用する利点は少ない。

14) 品質低下が少ないので生産性の向上が期待でき、歩留まりの向上、諸コストの低減に寄与する。すなわち、木口割れが少ないので、従来のように木口のトリミング(端部から7~10cmのカット)が不必要になる分だけ歩留まりが向上する。

15) プリドライヤーによる乾燥材は光沢があり、よごれが少ないので、用途によっては付加価値が増す。

2. プリドライヤーの種類と概要

プリドライヤーの種類は大きく分けると、3種類ある。

除湿機を設備して操作するもの。

蒸気加熱とファンを使用して操作するもの。

通常の乾燥装置と同じ構成で、低温で運転するもの。

典型的なプリドライヤーは、基本的には、温度として27~38℃を使用する。また、相対湿度は、60~80%である。建物は“バトラータイプ”と呼ばれるものが多く、コンクリート表面の腐食防止のために金属板で保護してある。

蒸気加熱式のプリドライヤーの建て屋は、壁と天井に6インチ(15.2cm)の断熱材が入っている。除湿式のプリドライヤーでは、さらに厚い断熱材が入っている。また、床の周囲も断熱されている。ファンは、乾燥室上部および棟部に設置されている(図1, 2)。上部ファンは乾燥室内の空気を棧積み材内に循環させる役割をもっている。また、棟部ファンは、乾燥室内の空気を排出する役割をもっている。

乾燥室内の湿度は、1) 温度上昇が可能であれば温度を上昇することによって湿度を変える。2) 換気によって余分な湿度を排出し、乾燥した空気

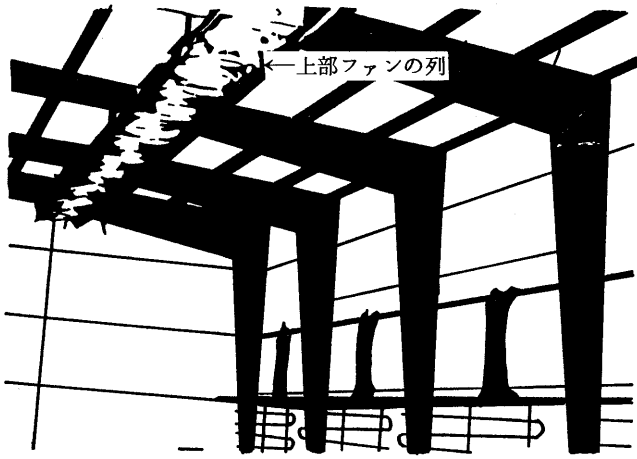


図1 プリドライヤーの構造(上部にファンが並ぶ)

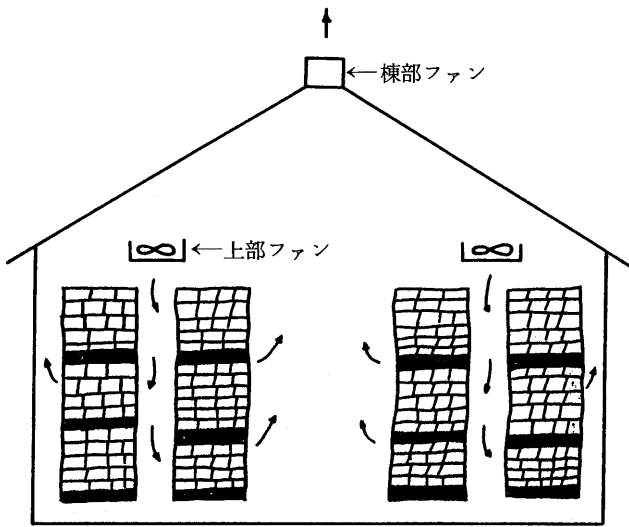


図2 プリドライヤーの断面スケッチ(風の流れ)

乾燥に伴う割れの発生について考えてみよう。平均含水率60%の湿った材の場合、表面では含水率20%、また中心部では70%を超える状態になっている。表面が乾燥するにつれて表面の細胞や繊維は収縮し始める。材の中心部(含水率30%を超える部分)では、まだ収縮が始まらない。このような表面と内部の収縮の違いが、平均含水率が高いにもかかわらず表面割れを引き起こすに十分な乾燥応力を発生させる原因となる。さらに、材の外側は収縮し、収縮しきれない内側は圧迫されるため、材内部の細胞が破壊されたり弱められたりする。したがって、乾燥初期の高含水率の時に材内部にダメージを与え、さらに内部が乾燥するにつれて、この弱められた内部の細胞を破壊させることになる。こうしてできる裂け目は細い線(ヘアライン)となり、さらに典型的な内部割れとなる。

この収縮による応力に耐えて割れがないように材を強く保っておくには、材を低温にしておくことである。すなわち、材は低温に保っておけばおほぼ強度が増す(低温乾燥であるプリドライヤーを使用すれば強度が増す)。低温乾燥が行われる理由はここにあるが、通常的人工乾燥における温度よりも少し低い温度で乾燥するだけでも強度が強くなり割れの

を取り入れることにより湿度を変える。

おおまかに計算すると、プリドライヤーのエネルギー消費の内、その55%は水分の蒸発(乾燥)に、残りの45%は換気等の熱損失を補うために消費される。

3. プリドライヤーによる乾燥とは?

オーク材の乾燥に関して次のような意見がある。“オーク材をうまく乾燥しようと思うなら、コストについては少し目をつぶり乾燥による問題がないように考え、品質本位に乾燥するべきである”。

発生を少なくすることができる。

さて、木材の乾燥後の平均含水率を28%とすると、この時、中心部ではまだ湿っていて、含水率39%になっている。一方、表面では8%になっている。中心部はこれから収縮を始める。この含水率付近からしだいに温度は高くされるが、それによって中心部の材はもろくなり、内部の収縮が始まるとともに内部割れが発生する。

以上の過程で乾燥は行われるが、乾燥には二つの危険な段階がある(図3)。一つは、表面割れの危険域である。二つめは、材の内部が乾燥・収

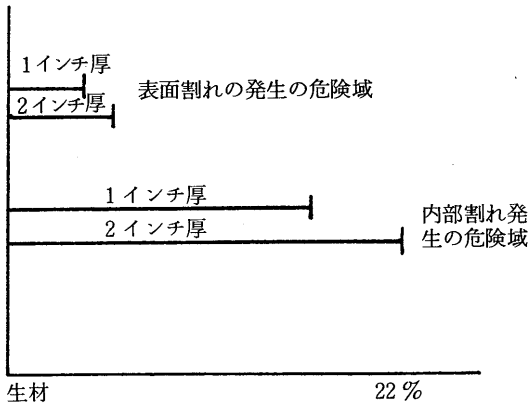


図3 オーク材の乾燥における割れの危険域の概念図
（プリドライヤーではこの危険域に対して安全に運転できる）

縮するための内部割れの危険域である。内部の含水率が35%以下（平均含水率22%付近）になれば、材の強度は強くなっていく。したがって、以後の加熱は安全に行える。加熱により材は幾分脆弱化されるが、乾燥が進むにつれ含水率の低下があり、水分が少なくなることによる強度の増加がこの弱点を補う。プリドライヤーは、こうした低温乾燥の原理を実践する方法であり、とくに新しい乾燥法であるとはいえない。

オーク材を急速乾燥すれば、表面割れ、内部割れが発生する。また、あまりゆっくり乾燥すればカビや変色が発生しやすくなる。積積みが悪ければ狂いにつながる。これらを念頭におけば、プリドライヤーでも高温、低湿で運転することは割れに関して良くないことは明らかである。木材乾燥では、乾燥速度について注意を十分はらうことが重要であり、乾燥速度が大きいと材の品質低下（割れ）が大きくなる。表面割れ、木口割れは乾燥初期の含水率が10～20%低下する間に起こる。したがって、乾燥初期に十分な注意を払い、乾燥速度を大きくしないことが必要である。

それでは、プリドライヤーの操作はどのようにすれば良いであろうか？

高級材については、表面割れを防止するために、製材後すぐにプリドライヤーに入れて、含水率が

20%だけ低下するまえに、乾燥を制御してやる必要がある。いったん、20%の含水率低下が起これば、表面割れの有無にかかわらず、それ以後は割れの新たな発生はよほど厳しい条件を与えない限りは起こらない。

しかし、内部割れの危険はまだ残っている。厚い材では1インチの厚さの材に比べて、さらにその危険は長く残る。内部割れは、1) 乾燥初期に急速乾燥した、2) 含水率22%付近で温度を非常に高くして乾燥した、などの時に起こる。プリドライヤーでは、低温が採用されているので、この時期に高温で乾燥することはない。したがって、プリドライヤーで内部割れの危険があるとすれば、それは急速乾燥によるものである（低い湿度で乾燥初期に乾燥した）。

もう一つ、損傷の起きる原因がある。それは不適切な操作によるものである。例えば、仕上がり含水率が適切になっていない時に乾燥室から出してしまふこと、又は、含水率を間違えて高い含水率の時期に温度上昇を行ってしまうことなど、乾燥前の含水率の推定のミスによることがある。その結果、割れ以外にも、乾燥応力が残ってしまうことにもなる（ケースハードニング）。

乾燥応力は、低温乾燥では特に大きな問題にはならないが、乾燥応力の除去は低温乾燥では難しい。

プリドライヤーの操作上のキーポイントは品質低下をいかに防ぎながら乾燥するか、ということにあり、このための操作が乾燥技術者の責任である。

4. プリドライヤーによる歩留まり向上は？

アメリカ農務省の行った18のアパラチアの工場を対象にした調査結果では、天然乾燥による材の歩留まり低下は9.6%であった。調査方法が比較のおおまかなので製材プラントの材積歩留まりの低下はこれよりも幾分かは大きくなっているものと思われる。

天然乾燥における品質低下の原因は、材にかかる雨滴である。これを防ぐためには積積み屋根を設ければよいが、そのためには資本投下が必要

である。したがって、つぎの疑問がでてくる。“材の保護および品質低下を防ぐために屋根を設けるほうが安いのか、あるいは、乾燥速度が調整でき、生産調整が大きくプリドライヤーの導入の方が安いのか？”という疑問である。これについては、明確に答えられないが、天然乾燥とプリドライヤーはそれぞれ立場があり、樹種、要求される品質、等級などについて考慮して選択しなければならない。

さらに、最近の調査によると、アメリカの多くの州でも、天然乾燥による歩留まり低下は10%程度になるのが一般的であった。とくに32mmのビーチ材では11%となった。この値は、製材工場における天然乾燥の歩留まり低下に相当するものと思われる。(もし、現在の製材工場での歩留まりが50%で、乾燥による歩留まり低下がないとすれば、製材の歩留まりは11%増加することになり61%となる)。また、オーク材(25.4mm, 32mm)に関していえば、天然乾燥による歩留まり低下は6~12%に達している。

プリドライヤーについて、歩留まり低下を計算してみると32mmのビーチ材では、1.8%であった。また、32mmのオーク材では1.0%、38mmのオーク材では2.8%以下であった。これらの値を引用すればプリドライヤーを使用することによる製材工場の歩留まり向上は5~9%程度期待できることになる。

見方を変えると、この歩留まり向上率は、1000BF(2.36m³)当たり約50~90BF(0.1~0.2m³)分の製材に相当する。これは、No.3Aコモングレードの製材について計算したものである。このグレードはもともと、多くの欠点が含まれている。

さらに、一般に見えない部分に使用する材では、軽微な割れは許される。したがって、これらの乾燥にプリドライヤーを使用するのは適していない。すなわち、高級な材、割れが材面にあると悪いものに対して適用することがベターである。

プリドライヤーには、歩留まり向上の利益の外にも、品質低下が少ないので長い材が得られる利点もある。すなわち、今までの天然乾燥よりも19%(152cm)良い材が得られる。

5. コスト

プリドライに関するコストを表1に示す。この計算は、年間1000万BF(23600m³)を生産する場合について示した。もちろん、典型的なコストである(1980年)。

プリドライヤーの設備費は、おおまかにいって、1000BF(MBF)の容量につき500ドル(34,000円/m³)である。プリドライヤーを使用する場合と天然乾燥の場合との品質低下の程度の違いから生じる利益を含めて乾燥コストを考えると、製材MBFにつき25ドル(約1,700円/m³)ほどプリドライヤーが有利である。したがって、プリドライヤーを20回転(約2年)使用すれば設備費の償却はできる。

設備費の償却に関しては、また、在庫の削減に

表1 4つの乾燥法のコストほか、主な特徴比較
(生-含水率25%まで乾燥する場合)

乾燥法 比較項目	天然乾燥	低温乾燥		中温乾燥
		プリドライヤー (蒸気式)	除湿式 乾燥装置	(通常の 熱気乾燥装置)
乾燥時間	3~6カ月	4週間	3~4週間	3週間
設備コスト	13,600円/m ³	33,900	135,600	169,500
乾燥コスト	16~44円/%MC/m ³	26	33	44
品質低下による損分	2,034円/m ³	1,280	1,280	1,920
エネルギー消費	0 kcal/m ³	373,788	181,600 (148 kWh/m ³)	373,788

注) 除湿機のコストは、除湿ユニットの大きさの違いによってはあまり変わらない。
蒸気式のプリドライヤーのボイラー施設の設備費は、含まれていない。
乾燥コストは、1m³の材の含水率1%を低下するときの金額。
4/4インチのオーク材を基準に算出した。1ドル=160円として円に換算した。

伴う利益という見地から考えることができる。すなわち、プリドライヤーを使用すると、天然乾燥のように多くの在庫を抱える必要はないので(天然乾燥に必要な期間は3~6カ月)、プリドライヤーが稼働する前の1~2カ月分の在庫にかかる経費の削減によってプリドライヤーの設備費の償却はできる。

6. プリドライヤーにおける在庫管理

プリドライヤーを使用する時に、疑問として残るのは、生材が製材されて乾燥を待っている場合、現在プリドライヤーに入っているある程度乾燥している材(含水率25~30%)を引き続き含水率20%まで乾燥し、その間生材は待機させておく方が良いのか、あるいは、ある程度乾燥した材は外に出し、その代わりに生材を直ちにを入れる方が良いのか、ということである。これに関しては、生材を優先して直ちにプリドライヤーに入れて乾燥する方が良い。すなわち、プリドライヤーの最大の利点である“品質が良いことに伴う利益”を優先させるために割れの出やすい生材を入れると

いうことである。その場合には、さらに疑問が生じる。すなわち、ある程度乾燥した材はどこに保管しておくのか、ということである。幸いにも含水率22%程度まで乾燥した材は、覆いのあるところならば、たとえ加熱できなくても保管が可能である。ここで必要なのは、覆いがあり、比較的乾いている場所を保管場所に定めることである。これを満足する一つの方法は、プリドライヤーの屋根の延長線上に15m以上の長さに覆いを設けた乾燥材の保管場所を確保することである。さらに、強風による雨滴の吹き込みから材を保護するためには壁等を設置する。

(林産試験場 乾燥科)