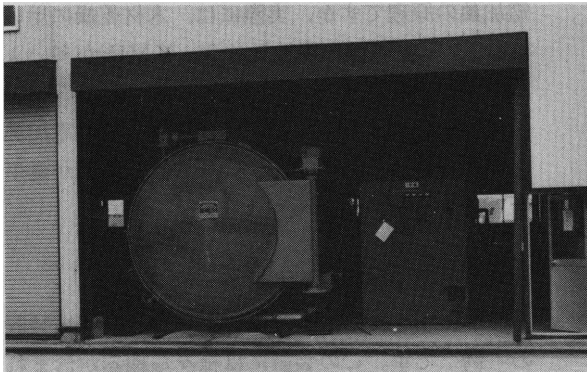


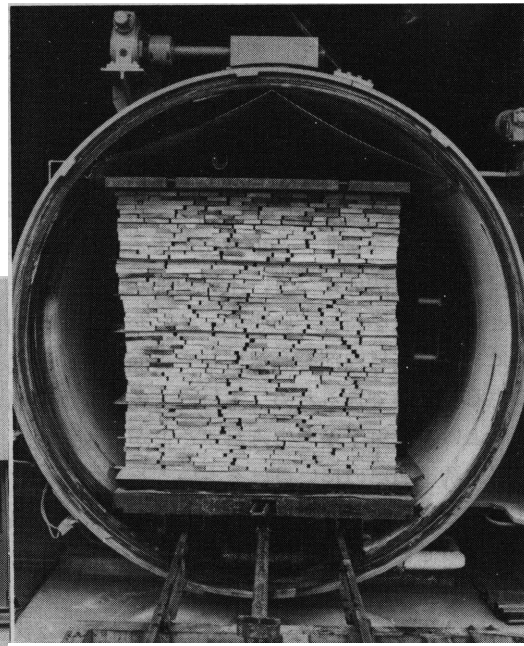
木材の高周波減圧乾燥

家具用材の乾燥試験から

信田 聡 奈良直哉



高周波減圧装置外観



真空缶体と乾燥材台車

はじめに

木材の人工乾燥を行うのに、現在では様々な乾燥装置が使用されています。いま最も広く普及し、なじみ深いのは、熱源として木くず、重油などを使用して蒸気をつくり、加熱管により乾燥室内の空気を加熱、また蒸気により湿度をコントロールしながら、強制的に乾燥室内の空気を内部ファンで循環させて乾燥する蒸気式内部送風機型（I・F型）の乾燥装置です。

それに対して、ここで取りあげた高周波減圧乾燥は、これとはかなり異なった乾燥方法で、むずかしい言葉で言えば、減圧乾燥と高周波誘電加熱という方法を組み合わせた乾燥方法ということになります。

ここでは、高周波減圧乾燥について、そのあらましと実際の乾燥例によって本装置の特徴、材の仕上がり状態、コスト面の検討をしてみようと思えます。

1. 高周波減圧乾燥の誕生

高周波減圧乾燥は、減圧乾燥と高周波誘電加熱とを組み合わせた乾燥方法であることは先にも述

べましたが、それでは、まず減圧乾燥から話しを始めましょう。

減圧乾燥は、木材の乾燥時間（損傷の発生も極力防止しながら）を短縮することを目的として生まれた乾燥方法です。すなわち、木材を気密性の良い缶体に入れて、缶体内の気圧を大気圧（760トル）から減圧し50～60トルにすることによって、木材内部と周囲空気の水蒸気圧差を生じさせ、この圧力差によって木材中の水分を木材表面へ迅速に移動させて乾燥します。更に、減圧することによって水の沸点が下がり、低い温度でも水分蒸発が活発となり、木材表面からの蒸発が促進され乾燥が速くなります。しかしながら、樹種によって通気性に違いはあるが、実際には減圧によって十分に乾燥が進むのは木口から1m程度までであるといわれています¹⁾。そこで、完全に乾燥を行うためには、なんらかの方法で木材を加熱し、乾燥の進行を助けてやる必要があります。この目的のために従来より蒸気加熱、あるいは、熱板による加熱が行われていました。しかし、これらの方法によりますと、確かに加熱されることによって水分蒸発は盛んになりますが、木材表面から熱が

伝わるので木材内部は表面よりも高い温度にはなりません。したがって、乾燥を促進するのにふさわしい条件である内部の蒸気圧を高くして表面を低くするような水蒸気圧差は得にくいということが考えられます。

そこで、これらの方法に替わって高周波誘電加熱が登場してきます。この方法による木材加熱は前に述べた方法に比べて、木材内部から加熱できるという利点を持っています。すなわち、この加熱によれば木材内部を高温にして表面を低い温度にすることができるため、木材内で乾燥促進に都合のよい水蒸気圧差を生みだすことができます。高周波誘電加熱の良い点はそういうことですが、さて、それでは高周波誘電加熱とはどういう加熱方法なのでしょうか。ここでちょっとその原理について触れてみたいと思います。

木材は誘電体といって、皮革やプラスチックと同様に電気を通さない性質をもっています。ところが、周波数の高い交流になりますと、この誘電体の中や、何も無い空間でさえ自由に流れる(電波)ことができます。この周波数の高い交流のことを高周波と呼んでいます。一般に周波数が 10 KHz(キロヘルツ) ~ 100MHz(メガヘルツ)の範囲の交流のことをいいます。家庭で使う電灯などには50Hz又は60 Hzの交流が使用されていて、この交流は1秒間に電流の流れる方向と大きさが50又は60回変化します。これに対して、高周波は1秒間に1万から1億回変化するものといえます。図1のように2枚の平行電極の間に木材を挿入して高周波電圧をかけますと、木材や木材中の水の分子はその両端に

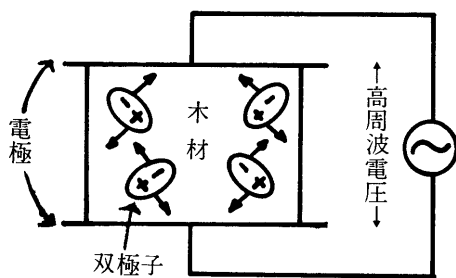


図1 高周波誘電加熱の原理

正負等量の電荷を持った双極子というものを形成して、これが電極の極性が変わるにつれて異符号(+と-)の電極との間に引力を生じて刻々とその方向を反転させます。その結果、高周波の周波数の大小にしたがって反転を繰り返す際に互いに衝突、摩擦しあって発熱します。この熱によって木材が加熱されるわけです。これが高周波誘電加熱の原理ですが、実際には、木材乾燥に用いられている高周波の周波数は3~6 MHzが多いようです。

以上のようにして、減圧乾燥に高周波誘電加熱が加えられることによって高周波減圧乾燥が誕生してきました。

2. 高周波減圧乾燥装置の一例

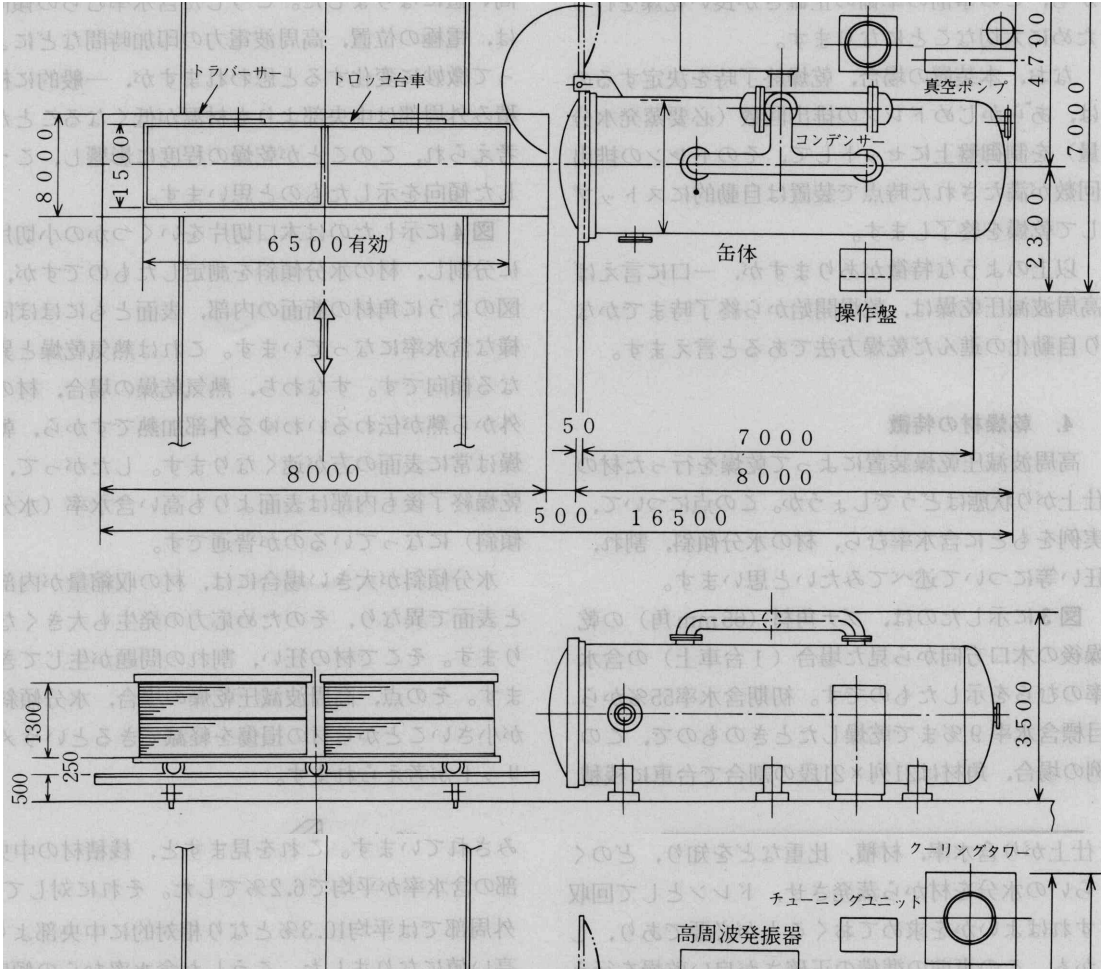
図2に示したのは、実際の高周波減圧乾燥装置の一例²⁾です。この装置には様々な機器が含まれて一つのシステムを作っていますが、主なものをあげると、 棧積みした木材を乗せる台車、 乾燥室にあたる真空缶体、 減圧操作に必要な真空ポンプ、 木材加熱のための高周波発振器、 冷却水を作るための冷凍機と冷却塔、 蒸発した水分をドレンとして回収するためのコンデンサー、 各機器制御のための制御盤、 などになります。1頁の写真に装置の外観及び木材の搬入された真空缶体の状態を示しました。

3. 乾燥操作上の特色

高周波減圧乾燥を普通の熱気乾燥に比較した場合、乾燥操作上に大きな相異点が二つあります。その第1は被乾燥材の棧積み方法で、第2は乾燥中の含水率管理の方法です。

棧積み方法に特色があるというのは、熱気乾燥の場合、棧木は被乾燥材を一段積むどとに入れて乾燥しますが、高周波減圧乾燥の場合には、写真

に示すように棧木はあまり挿入せず材と材の間の空間を少なくするように積みます。こうすることによって、高周波電力が効率よく材に投入されるわけです。ただ、材をベタ積みするだけでは材が崩れやすくなるので薄い棧木(5 mm厚程度)



缶体 径2,400mm,長さ700mm
 発振出力 60kW 容量11m²

図2 高周波減圧乾燥装置



棧積み材 (棧木と電極の挿入)

を何段かごとに挿入しています。また、棧積み途中で高周波電力を印加するための電極板を一定間隔ごとにセットするのが特徴です。

一方、乾燥中の材の含水率管理が異なるのは、一般的な熱気乾燥の場合、コントロール材を作り適時乾燥室から取り出して含水率をチェックしますが、高周波減圧乾燥ではこれできません。その代わりに、材から蒸発した水分を真空ポンプで引いてコンデンサーによって凝縮させ、ドレンとして回収しこのドレン量によって材の含水率の管理を行います。このため、乾燥前の材の初期含水率、

仕上がり含水率、材積、比重などを知り、どのくらいの水分を材から蒸発させ、ドレンとして回収すればよいかを求めておくことが必要であり、しかも、この事前の準備の正確さが良い乾燥を行うために大切なこととなります。

なお、本装置の場合、乾燥終了時を決定するのは、あらかじめドレンの排出回数（必要蒸発水分量）を制御盤上にセットして、そのドレンの排出回数が満たされた時点で装置は自動的にストップして乾燥を終了します。

以上のような特徴がありますが、一口に言えば高周波減圧乾燥は、乾燥開始から終了時までかなり自動化の進んだ乾燥方法であると言えます。

4. 乾燥材の特徴

高周波減圧乾燥装置によって乾燥を行った材の仕上がり状態はどうでしょうか。この点について、実例をもとに含水率むら、材の水分傾斜、割れ、狂い等について述べてみたいと思います。

図3に示したのは、ブナ角材（65mm角）の乾燥後の木口方向から見た場合（1台車上）の含水率のむらを示したものです。初期含水率55%から目標含水率9%まで乾燥したときのものです。この例の場合、角材は21列×21段の割合で台車に積積

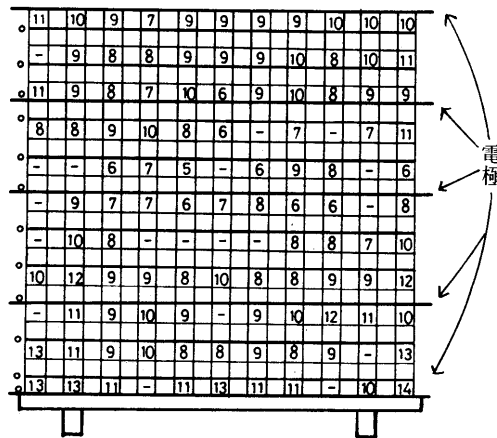


図3 ブナ角材の乾燥後の含水率むら
（積積台車、木口面方向）
材料：65mm角、21列×21段
○：5mm厚の積木挿入位置

みされています。これを見ますと、積積材の中央部の含水率が平均で6.2%でした。それに対して、外周部では平均10.3%となり相対的に中央部より高い値になりました。こうした含水率むらの傾向は、電極の位置、高周波電力の印加時間などによって微妙に変化すると思われませんが、一般的に積積み外周部は中央部よりも材温が低くなることが考えられ、このことが乾燥の程度に影響し、こうした傾向を示したものと思います。

図4に示したのは木口切片をいくつかの小切片に分割し、材の水分傾斜を測定したのですが、図のように角材の断面の内部、表面ともにほぼ同様な含水率になっています。これは熱気乾燥と異なる傾向です。すなわち、熱気乾燥の場合、材の外から熱が伝わるいわゆる外部加熱ですから、乾燥は常に表面の方が速くなります。したがって、乾燥終了後も内部は表面よりも高い含水率（水分傾斜）になっているのが普通です。

水分傾斜が大きい場合には、材の収縮量が内部と表面で異なり、そのため応力の発生も大きくなります。そこで材の狂い、割れの問題が生じてきます。その点、高周波減圧乾燥の場合、水分傾斜が小さいことから材の損傷を軽減できるというメリットが考えられます。

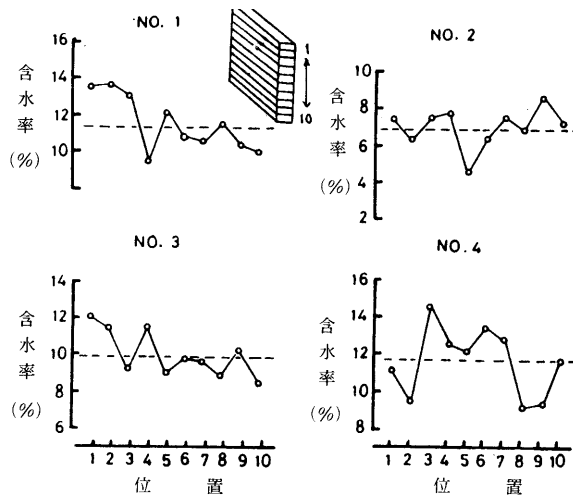
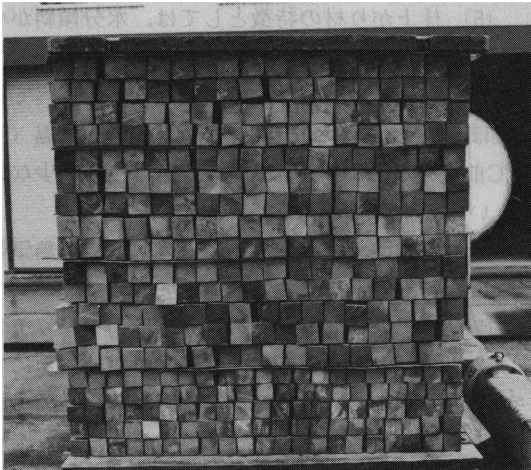


図4 ブナ角材の水分傾斜
No. 1~3：75mm角ブナ材
No. 4：65mm角ブナ材



乾燥後のブナ角材の木口面の状態

割れ，狂いについて見てみましょう。写真 は乾燥後の台車を木口面方向から見たものですが，木口割れはほとんどありませんでした。またこの写真からはわかりませんが，表面割れも全くありませんでした。しかし，狂いは写真でも明らかに木口面で見るとダイヤ型の変形が多くみられました。変形については高周波減圧乾燥によっても生じることがわかります。したがって，どのような乾燥方法でも同じですが，材の狂いを防止するには外部から強制的に圧縮（又は重錘载荷）することが必要です。この実例の場合にも棧積み台車上に鋼板（重さ約 2ton/ 1台車）を載荷していますが，この程度の重錘では角材，板材を問わず十分な狂い防止にはならず今後の技術的解決課題といえましょう。

5. 電力消費と電力コスト

高周波減圧乾燥によって木材を乾燥する場合，一体どのぐらいの電力を必要とし，電力コストはどのぐらいになるのかという問題は，材の仕上がりの良し悪しとともに重要な問題です。そこで，実例をもとに電力消費，電力コストについて調べてみたいと思います。

イ. 乾燥条件

樹 種；ブナ角材（65mm角，75mm角）
材 積；11.4m³

含水率；初期55%，仕上がり9%

所要時間；114時間

ロ. 運転条件と消費電力

高周波発振器（容量60kW） 50.6kW/h...

乾燥に要した消費電力量の平均値

冷却水循環ポンプ	1.5	"
冷水循環ポンプ	1.5	"
冷却塔ファン	1.1	"
発振器冷却水ポンプ	3.7	"
以上は乾燥中常時運転	計7.8	".....
冷凍機	7.5	".....
全乾燥時間中の60%断続運転		
真空ポンプ	15.0	".....

乾燥時間中1時間のみ運転

ハ. 電力コスト

以上の運転条件で消費電力量を計算しますと，次のようになります。

(kW/h) (h)	(kW)
50.6 × 114	= 5,768.4
7.8 × 114	= 889.2
7.5 × 114 × 0.6	= 513.0
15.0 × 1	= 15.0
計	7,185.6

電力料金の単価は，工場の使用動力の規模によって基本料金が異なるなど，一概には決まりませんが，工業用電力料金ということで 1 kWh当たり 22円として，材積 1m³当たりの電力コストを算出してみます。

(kWh)	(円/kWh)	(m ³)	(円/m ³)
7,185.6 × 22	÷ 11.4		= 13,867

この値を I・F型蒸気式乾燥装置で乾燥した場合のコストと比較してみましょう。I・F型のコスト計算例として寺沢³⁾の行った結果を引用しました。それによりますと，基本的に乾燥によって蒸発すべき水分量と投入したエネルギー量（蒸発に要する熱量，材温上昇に要する熱量，室内送風用の電力を含む）から水分 1kgを蒸発させるのに要するコストを15.6円/kgと算出しています。この値に今回のブナ角材の乾燥による蒸発水分量を乗ることによって I・F型乾燥装置で乾燥した場

合のコストが推測できます。今回のブナ角材の乾燥において蒸発水分量は、材積、含水率、比重から計算しますと2800kgということになりました。したがって、乾燥コスト（エネルギー消費のみを考える）は $15.6 \times 2800 = 43,680$ （円）となり、これを材積 1m^3 当たりに換算しますと $43,680 \div 11.4 = 3,832$ （円/ m^3 ）という結果を得ます。

高周波減圧乾燥の場合、上述のように $13,867$ 円/ m^3 、それに比べてI・F型蒸気式乾燥では $3,832$ 円/ m^3 となり、高周波減圧乾燥は蒸気式乾燥の約3.6倍のコストになっています。もちろん、この比較はポイラーマン等の人件費は含まないものですから、実際には多少の違いはでてくるものと思われる。それにしても、従来よりよく言われますように、高周波減圧乾燥による乾燥コストは一般のI・F型蒸気式乾燥よりも高くつくことは否めないようです。

まとめ

高周波減圧乾燥の特徴と実際の乾燥例を引用して述べてきましたが、以上を要約しますと次のようになります。

(1) 乾燥方法の原理から考えますと、理想に近い方法であるといえます。

(2) 乾燥装置は、同じ規模のI・F型蒸気式乾燥装置と比べて割高になります。

(3) 含水率むらを防ぐためには、均一な加熱を行う必要がありますが、特に、材の積方法、電極挿入の方法などに今後の検討の余地があります。

(4) 乾燥時間は、材への高周波電力の投入効率に関係し、積方法、電極の位置などによって相当違いが出るものと思われます。

(5) 仕上がり材の特徴としては、水分傾斜が小さいため割れは顕著に少ないといえます。しかし、曲がり、反りの発生は一般の熱気乾燥に比べてそれほど差は認められません。また、比較的低温(50前後)で乾燥するため材の変色は非常に少ないといえます。

(6) 乾燥コスト(エネルギーコスト)は熱気乾燥に比べ割高となります。

(7) 装置の特性上、あらかじめ出力をマッチングしますので乾燥する材の樹種、材積は一定にすることが好ましく、様々な形状、材積のものを同時に乾燥しにくいといえます。また初期含水率もあまり差がある場合には好ましくありません。

(8) かなり自動化の進んだ装置のため、乾燥前の蒸発水分量(ドレン排出回数)の正確な決定が要求されます。

なお、この報告をまとめるにあたり、実大(11 m^3)の装置を使用することを快く承諾してくださいました時田製材所(上磯町)常務取締役 時田孝造氏並びに中村乾燥士に厚く謝意を表します。

文献

- 1) 社団法人 北海道林産技術普及協会: テクニカルノートNo. 4, 木材乾燥(実務編), 73, (1978)
- 2) 芦田製作所: 高周波加熱式木材真空乾燥装置の技術資料, 15
- 3) 寺沢 真: 除湿式木材人工乾燥室について, 木材工業, 38, 3, 10~17 (1983)

(林産試験場 乾燥科)