

県産スギ材の低コスト乾燥に関する研究

糸川 隆康・井戸聖富

和歌山県農林水産総合技術センター 林業試験場

Studies on Low-cost Drying of Sugi Timber in Wakayama Prefecture

Takayasu Itogawa and Masayoshi Ido

Forestry Experiment Station

Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries

緒 言

住宅向けの構造用材についても乾燥が欠かせないという認識が浸透しつつあるなか、乾燥材の需要は高まってきている(信田・河崎 1999)。しかし、スギ材については価格が低いのに対し、乾燥にかかる経費が高くなってしまいうことが問題となり、本県においても人工乾燥材の生産量は十分ではない。そこで、人工乾燥と天然乾燥を組み合わせた乾燥方法により、低コスト化を図ることを目的として試験を行った。

材料および方法

1. 材料

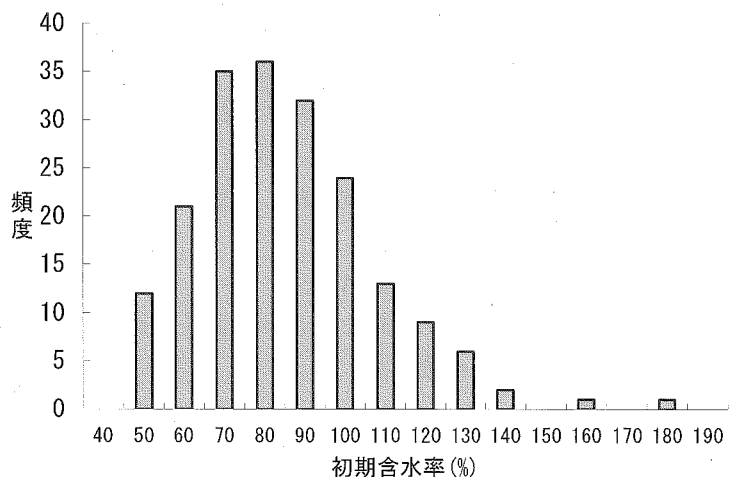
供試材は和歌山県産の樹齢約 50 年、末口 18 ~ 24 cm のスギ丸太より製材された 130mm 角、長さ 3m 及び 4m の無背割正角材 192 本である。試験材の初期重量と初期含水率を第 1 表に、初期含水率の分布状況を第 1 図に示した。

2. 方法

天然乾燥はエネルギー消費が少なく、場所さえあれば、非常に低コストな乾燥方法と言えるが、心持ち柱材の場合材面割れの発生率は非常に高くなってしまいうなどの問題点がある。そこで、材面割れの防止を目的として高温乾燥(吉田ら,2000)における初期の工程(以下高温セットと略す)を組み入れた。また、乾燥期間の短縮をねらって太陽熱利用乾燥(東山・大塚,1993)、高周波加熱減圧乾燥(寺澤ら,1998)を組合せる乾燥方法を試みた。各乾燥方法の組合せを第 2 表の①~⑥に

	初期含水率 (%)	初期重量 (kg)
サンプル数	192	192
平均値	80.7	31.1
標準偏差	21.9	4.4
最小値	40.7	22.9
最大値	179.1	50.8

注) 重量はすべて3mに換算している



第1図 初期含水率の分布

第2表 乾燥方法の組合せ

区分	前処理	天然乾燥	天然乾燥場所	仕上げ乾燥	材長	本数
①	18h高温セット	1ヶ月	屋根付き天然乾燥場	高周波	4m ^z	32
②		3ヶ月	屋根付き天然乾燥場	高周波	4m ^z	32
③	24h高温セット	4ヶ月	屋根付き天然乾燥場	—	4m	32
④		4ヶ月 ^y	太陽熱利用乾燥室	—	4m	32
⑤	—	5.4ヶ月	屋根付き天然乾燥場	—	3m	32
⑥	—	—	—	高周波	3m	32

注) z:3mに切断後高周波加熱減圧乾燥
y:太陽熱利用乾燥

示す。①②と③④はそれぞれ同時に18時間、24時間高温セット処理したものを重量が同じ分布になるように分けてその後の乾燥を行ったものである。

ここで、各工程についての詳細と乾燥後の調査方法について記す。

1) 高温セット処理

高温セットの処理はエノ産業製の高温型蒸気式乾燥装置（収容能力約5m³）により行った。高温セットの条件は湿球温度95℃で6時間蒸煮し、材心部まで昇温させた後、乾球温度120℃、湿球温度90℃で一定とした。この高温での処理時間はこれまでの予備的試験の結果、12時間では少し不足気味で30時間処理では内部割れが目立ったため、18、24時間とした。それぞれの条件で各1回64本づつ高温セット処理を行った。処理中は材中心部の温度を熱電対で測定した。また、電気抵抗式含水率センサーにより含水率を測定した。これと同時に、長さ約1mの試験材の両木口をシリコンでコーティングし、アルミ箔で被覆して、乾燥装置内に置き、重量を測定していくことで、含水率の変化を測定した。

2) 天然乾燥

天然乾燥は和歌山県林業試験場内のA.屋根付きの天然乾燥場 B.太陽熱利用乾燥室内の2箇所を積積して行った。③④の乾燥期間はH16.3.23～H16.7.16日の115日間である、⑤についてはさらに46日延長し161日間乾燥した。太陽熱利用乾燥室については循環ファン2基を出力90Wで試験期間中稼働させた。乾燥中は定期的に重量を測定することで含水率の変化を測定した。乾燥終了後、木口から1m付近で節を避けて、約2cmの板を2枚鋸断し1枚から全幹法により含水率を測定し、乾燥前、乾燥中の含水率を換算して求めた。また、材内の水分傾斜については上述のもう1枚の板の中央部を3cm幅で切り出したものを7分割し、全幹法により求めた。

3) 高周波加熱減圧乾燥

高周波加熱減圧乾燥（以下高周波乾燥と略す）は富士電波工機製の高周波真空乾燥装置（出力3kw、収容能力0.8m³）で行った。高温セットの前処理を行った4m材については3mに切断した後、乾燥に供した。乾燥は1回当たり4列4段の16本で区分①②⑥の材をそれぞれ2回乾燥した。乾燥条件は高温セット前処理材については6分発振2分停止の間欠発振で缶内圧力150Torr—材温80℃、無処理材については材温70℃で制御した。乾燥前、乾燥後に重量を測定し、乾燥終了後は全幹法で含水率を測定した。

4) 品質調査（材面割れ・内部割れ）

材面割れは木口から10cmを除く長さの合計を求めた。また、内部割れについては、2)の含水率試験片において長さの合計を求めた。

5) 乾燥経費試算

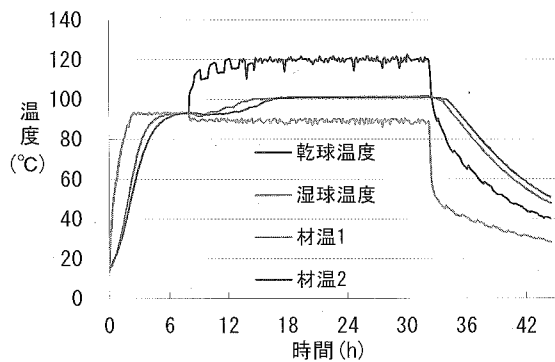
それぞれの組合せによる乾燥に要する、設備費、人件費、燃料費から乾燥経費を試算した。

結果および考察

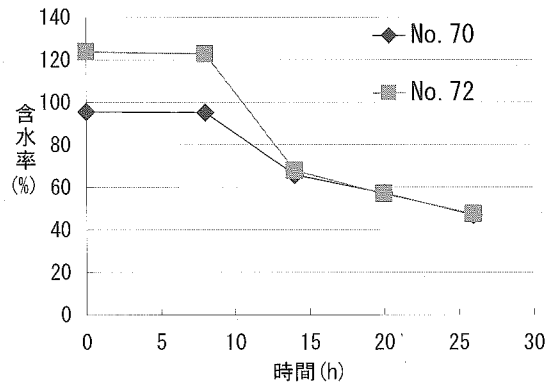
1. 高温セット

24 時間の高温セット処理の経過について第 2 図に示す。初期蒸煮により、装置内の温度は乾燥開始後約 2.5 時間で 90 °C に達したが、4 本の材について材中心部の温度を測定したところ、90 °C に達するまでに、2.4 ~ 4.2 時間要した。その後、乾球温度を 120 °C 湿球温度 90 °C の設定に切り替わった後についても、6.4 ~ 8.5 時間後に 100 °C を越えた。これは材の含水率の違い等が影響しているものと思われ、処理材の含水率の変動が大きいと処理工程にも影響することを意味している。

また、高温セット処理中の含水率を第 3 図に示す。含水率の変化は別に入れた長さ 1m の試験片の重量変化から求めたものである。蒸煮中はほとんど変化がなく、その後最初の 6 時間で急激な含水率の低下が見られたが、その後は約 1.6%/h の速度での乾燥が進んだ。18h 及び 24h の高温セット後の含水率について第 3 表に示す。また、初期含水率と高温セット後の含水率について第 4 図に示す。高温セット後の含水率については、初期含水率と強い相関がみられており、初期含水率の高い材は処理後も高くなっており、乾燥前の選別が有効であることが示唆される。また、初期含水率が同じであれば、セット処



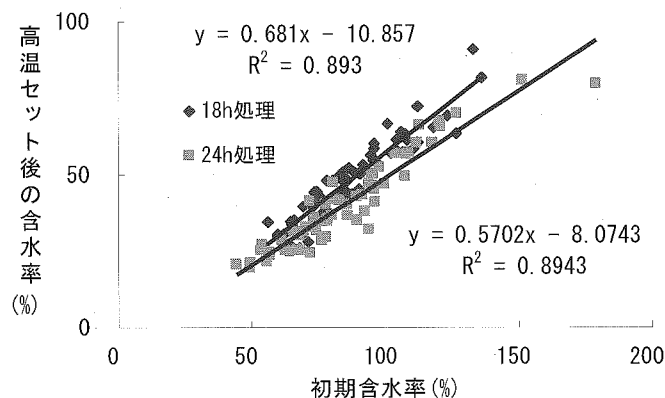
第2図 高温セット中の経過 (24h処理)



第3図 高温セット処理中の含水率変化

第3表 高温セット前後の含水率 (%)

	18h		24h	
	初期含水率	高温セット後含水率	初期含水率	高温セット後含水率
n	64	64	64	64
平均値	87.1	48.4	84.5	40.1
標準偏差	18.7	13.4	24.3	14.7
最小値	56.0	26.1	44.4	19.6
最大値	136.1	91.0	179.1	80.9



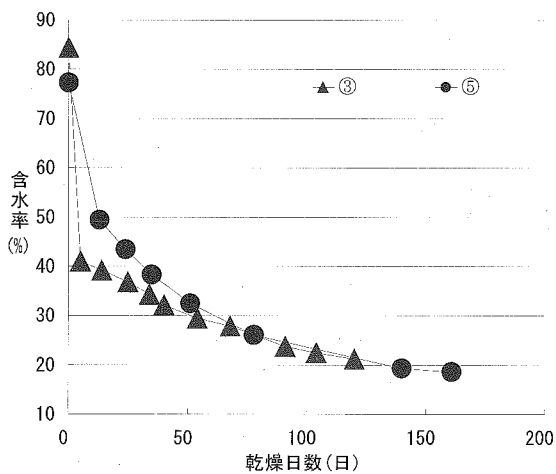
第4図 初期含水率と高温セット後の含水率

理時間を6時間延長した分処理後の含水率が低下していることがわかる。

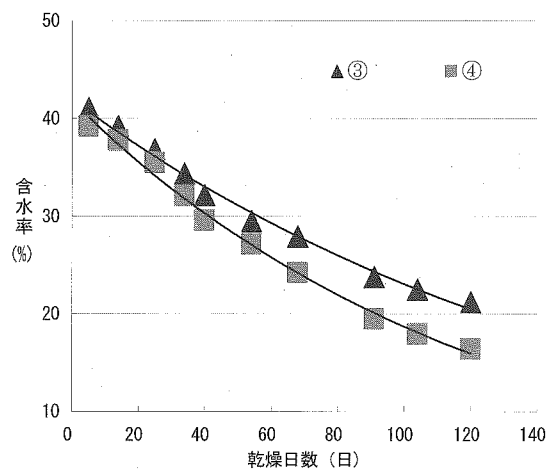
2. 天然乾燥と太陽熱利用乾燥室での乾燥

まず、③ 24時間高温処理材と⑤無処理材の含水率経過を比較した(第5図)。24時間処理材の天然乾燥開始時の含水率は41.0%であったのに対し無処理のそれは77.3%であったが、無処理材については初期段階で非常に早い乾燥速度で乾燥が進み約80日で24時間処理材に追いつき、以後同じような乾燥経過を辿った。したがって、高温セットによる前処理の効果は割れ防止の効果が主で、高温セット時の乾燥による天然乾燥期間の短縮効果は、ほとんど望めないものと考えられる。

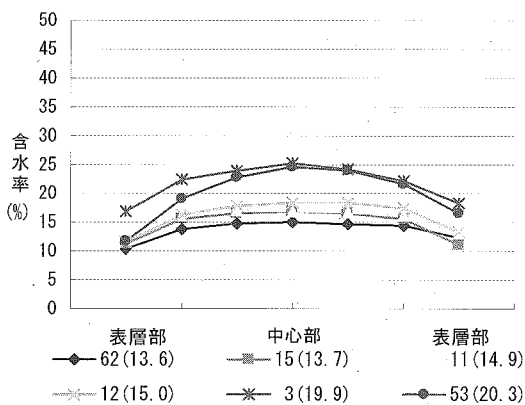
次に、③天然乾燥と④太陽熱利用乾燥の含水率経過を比較した(第6図)。太陽熱利用乾燥と天然乾燥では乾燥速度に違いが見られた。太陽熱利用乾燥においては約90日で平均含水率が20%以下となり115日後には平均16.4%(標準偏差1.95)になったが、天然乾燥では115日後でも平均は21.2%(標準偏差3.02)であった。乾燥経過からみて天然乾燥については2ヶ月以上の期間の延長が必要と思われた。115日後の材を木口から1mの部分において水分傾斜を測定した結果を第7図、第8図に示す。太陽熱利用乾燥室の材については全体的に水分傾斜が小さくなっていった。それに比べて天然乾燥場の材は、まだ水分傾斜が大きく内部に高含水率の部分が残されていた。また材面割れについては両者ともに高温セット終了後に割れの伸長は見られず、むしろ閉塞によって割れが目立たなくなる傾向が見られた。



第5図 天然乾燥中の含水率経過 (③, ⑤)

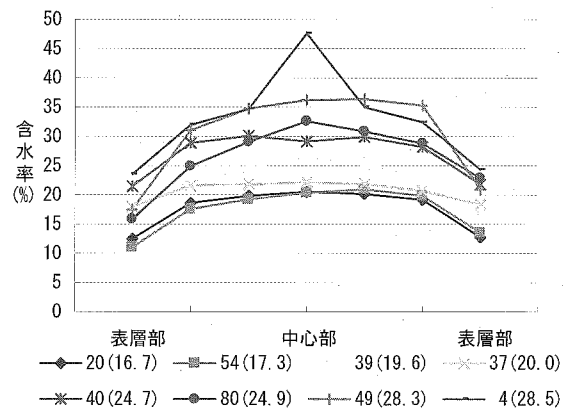


第6図 天然乾燥と太陽熱乾燥の乾燥経過 (③, ④)



第7図 水分傾斜(太陽熱利用乾燥室)

注) 数字は試験材の番号, ()内は全体の含水率を表す



第8図 水分傾斜(屋根付き天然乾燥場)

注) 数字は試験材の番号, ()内は全体の含水率を表す

太陽熱利用乾燥室については空気循環のためのファンを備えただけの簡易な乾燥室であり、エネルギー消費が低減され、乾燥期間の短縮を図れるにも拘わらず、これまで、ほとんど実用化されていなかった理由として、温度湿度が調整出来ないため割れ等の発生が多くなる可能性が高いことが上げられるが、高温セットした材の乾燥に使うことで材面割れを防止しながら乾燥日数の短縮が可能であったことから、今後このような設備の導入も一つの選択肢になるものと考えられる。ただし、東山らの報告(1993)にあるように、室内外の温度差、湿度差は季節や、日照時間にも左右されるため、今回試験を行った以外の時期での効果については別途検証していく必要がある

3. 高周波減圧乾燥

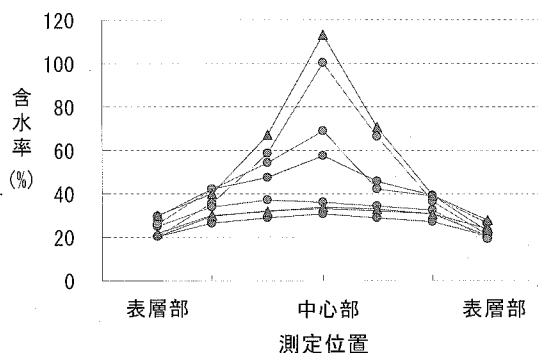
高温セット後の天然乾燥期間の違う①②と無処理の⑥を高周波乾燥した結果を第4表に示す。高周波乾燥は乾燥装置からの排水量から乾燥材の含水率を推定し、含水率が目標の15%に達した時点で、高周波の印加を終了した。この結果①で2～3日、②で約1日、⑥で約9～10日を要した。ただし、⑥については前処理を行っていないため、急激な乾燥は割れ等の材の損傷を招く恐れが高いと考えて、高周波の材温の制御温度を低く設定した結果、高周波の発振率が①②の約半分となったために日数が長くかかったものであり、乾燥条件によっては日数は短縮できるものと考えられる。また、高周波乾燥後の含水率については平均の含水率が概ね目標含水率に到達しているのにも関わらず、標準偏差が大きく含水率の変動が大きかった。この要因としては高周波の印加にムラが発生したことが考えられる。今後の印加ムラを少なくするような印加方法を検討していく必要がある。

また、材内部の水分傾斜を測定した一例として②についてグラフ化したものが第9図、第10図である。乾燥前では表層部が20%から30%と乾燥が進んでいるのに対し、中心部は30%から高いものでは110%を越えるものもあり、表層部と中心部の水分傾斜が顕著であるが、乾燥後は大部分が10%から20%の間にあり水分傾斜はほとんど見られない。

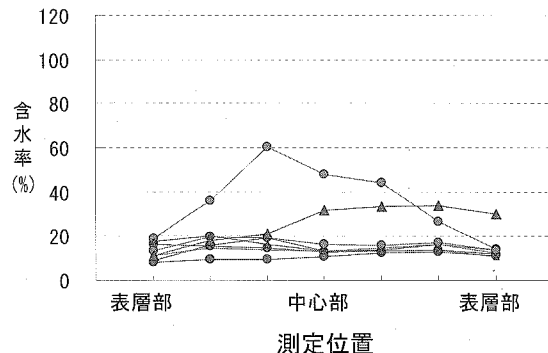
第4表 含水率経過

	天然乾燥 日数(日)	高周波減圧 乾燥日数(日)	含水率 (%)		
			初期(乾燥前)	高周波乾燥前	高周波乾燥後
①	27	2.8	89.9 (20.3)	45.6 (12.5)	16.7 (12.0)
	39	1.7	87.7 (22.0)	42.5 (11.5)	20.1 (13.1)
②	91	1.2	87.9 (14.0)	30.4 (5.6)	18.2 (6.5)
	98	1.1	84.5 (19.4)	27.3 (5.4)	15.5 (8.1)
⑥	0	10.1	75.1 (17.8)	-	17.7 (7.7)
	0	9.0	69.9 (14.2)	67.0 (13.8)	19.0 (8.7)

() 内は標準偏差



第9図 水分傾斜 (②高周波乾燥前)



第10図 水分傾斜 (②高周波乾燥後)

4. 品質調査（材面割れ・内部割れ）

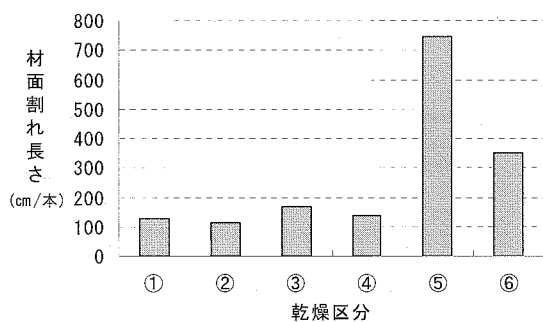
①～⑤の各乾燥材の材面割れ長さの平均値を第11図・第12図に示す。材面割れについては高温セット処理材（①～④）はいずれも200cm以下で前処理無しの天然乾燥材（⑤）や高周波乾燥（⑥）に比べて少なかった。次ぎに高周波乾燥が少なく、天然乾燥は割れ長さが非常に大きくなった。また、材面割れが全く見られない材も高温セット処理材や高周波乾燥材では2割程度見られたが、天然乾燥では全ての材に割れが見られた。この結果から高温セットを行うことで生じた材面割れの防止効果はその後の天然乾燥や、高周波乾燥時においても有効に働くことがわかった。また、ここでは割れの幅については調査していないが、高温セット材については、乾燥の進行とともに割れが閉塞して目立たなくなる傾向が見られた。

また、内部割れについては高温セット処理材（①～④）で2mm/本～9mm/本と僅かに見られたが、天然乾燥材（⑤）や高周波乾燥材（⑥）では全く見られなかった。①～④についても全体で6割以上の材は内部割れが見られず、実用上問題のない程度と考えられる。

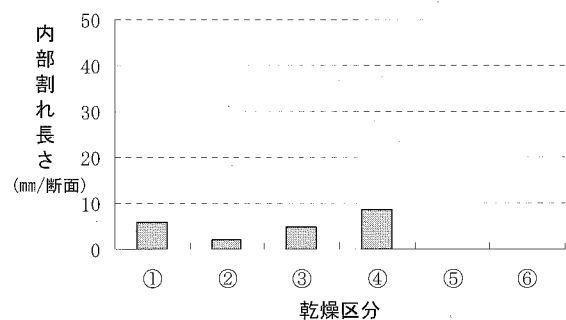
材面割れ、内部割れのどちらについても18時間高温処理（①②）と24時間高温処理（③④）の間で明確な差は見られなかった。

5. 乾燥経費

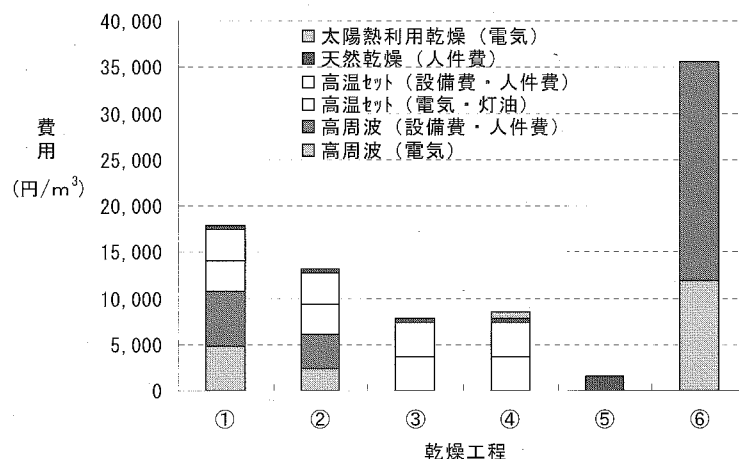
①～⑥の乾燥方法について、乾燥にかかる設備費、人件費、燃料費、電気代から経費を算出した。（第13図）ここで積算したのは直接経費のみであり、歩留まり低下や寸法仕上げの経費、土地や建物の費用、金利などは含まれていない。⑤の天然乾燥については棧積みと管理にかかる人件費のみであるため最も小さかった。次ぎに高周波乾燥による仕上げを行わない③④が小さかった。④については空気循



第11図 乾燥区分ごとの材面割れ長さ



第12図 乾燥区分ごとの内部割れ長さ



第13図 乾燥方法別の乾燥経費

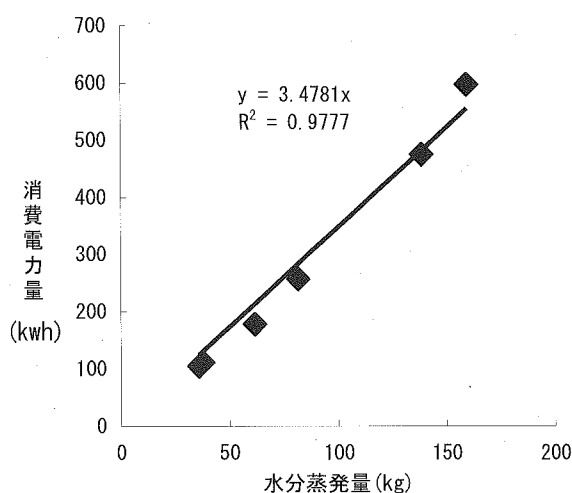
環用ファンの電気代がかかるが4ヶ月で690円/m³である。

高周波乾燥を組み入れた①②と⑥について見てみると⑥の高周波減圧乾燥については35,620円/m³と非常に高くなった。これについては4でも記したように高周波の印加の制御温度を低くしたために日数が多くかかったことによる影響が大きい。①②と同様の印加方法で乾燥日数を半分程度に短縮した場合について試算すると24,520円/m³となる。②は⑥に対して52%、①に対して29%経費が小さくなり、天然乾燥期間の延長によるコスト低減効果が認められた。

高温セットの経費について見ると、18時間と24時間の差は760円/m³であった。その後

の天然乾燥期間が十分あるとすれば高温セットによる材面割れの抑制効果が得られていることから18時間が適当と考えられる。しかし、天然乾燥期間が短く仕上げ乾燥を必要とする場合には24時間行って仕上げ乾燥の負担を小さくする方が効率的であると考えられる。ただし、今回の18時間と24時間の高温セット処理ではその後の内部割れの発生はいずれも少なく大きな違いは見られなかったが、これ以上の延長は内部割れの危険性が增大する可能性もあるので注意しなければならない。

高温セットの前処理を行うことで6,610円/m³の経費がかかったが、これによりその後材面の割れの発生を抑制しながら天然乾燥を行うことが出来た。そして天然乾燥による含水率の低減の結果、高周波乾燥の経費を大幅に低減することが可能であった。これは高周波乾燥装置はその設備費が使用日数が短くなることで経費が抑えられたことと、消費電力量が抑えられたことによる結果である。そこで高周波乾燥では水分蒸発量と高周波減圧式乾燥装置の消費電力量の関係をグラフ化してみると、第14図に見られるように、強い相関が見られた。消費電力のほとんどが高周波の発振に使われていることから、水分蒸発量は高周波印加量との関連性が高いことがわかった。したがって、高温セットと天然乾燥によって高周波乾燥前まで出来るだけ乾燥させることが消費電力量を小さくし高周波減圧乾燥のコスト低減になると考えられる。なお、経費については今回試験を行ったのはいずれも試験機であり、容量が通常の実用機と比べて非常に小さいため、割高になっているものと思われる。



第14図 水分蒸発量と消費電力量の関係

摘 要

天然乾燥についてはエネルギー消費が非常に少なく経費は小さいが、温度・湿度が成り行きであるため、スギ心持ち直角材の場合、乾燥期間が長くなる、材面割れの発生が非常に多いなどの問題があった。最初に高温セットによる前処理を行った後、天然乾燥することにより、乾燥期間については前処理なしの天然乾燥と比べて短くはならなかったが、材面の割れの抑制には効果が見られ、一本当たりの平均の材面割れ長さは天然乾燥の1/5程度と非常に少なくなった。また、高温セット後に太陽熱利用乾燥室で乾燥しても、乾燥は促進されるが材面割れの伸長が見られないことがわかった。

さらに、高温セット後に天然乾燥1ヶ月及び3ヶ月を行い、その後高周波減圧乾燥を行う方法についても、仕上げの高周波乾燥は約1～3日の短期間での急速な乾燥であっても、材面割れの伸長は見られないことがわかった。また、このとき天然乾燥を組み入れることにより乾燥経費も大幅に低減することが可能であることがわかった。ただし、高温セットにより内部割れについては少ないながらも18時間24

時間のいずれの処理においても発生しており，発生させないことが今後の課題である。

また，今回試験材についても初期含水率は41%から179%に広く分布しており，このような含水率の変動の大きい材料を一度に同一の乾燥工程で目標の含水率に仕上げることは不可能であった。このため，仕上がりの均一化が今後の課題となる。現状においては乾燥前の選別とその区分ごとの乾燥，乾燥後の含水率のチェック，再乾燥を徹底していく必要があると考えられる。

謝 辞

本研究の実施にあたり，高温セットについては株式会社山長商店所有の高温型蒸気式乾燥装置にて実施しました。乾燥装置を使用させて下さり，ご指導，ご助言頂きました株式会社山長商店の榎本長治氏，鳥淵健氏，高温セット実施に御協力頂きました職員のみなさまに深謝いたします。

引用文献

- 信田聡・河崎弥生．1999．スギ乾燥材の現状と将来展望．木材工業．54：174-177
- 吉田孝久・橋爪丈夫・藤本登留．2000．カラマツ及びスギ心持ち正角材の高温乾燥特性．木材工業．55：357-362
- 東山貢・大塚康史．1993．太陽熱利用木材乾燥．和歌山林業センター研究報告．4：10-15
- 寺澤眞・金川靖・林和男・安島稔．1998．木材の高周波真空乾燥．P.83-98．海青社．大津
- 河崎弥生・三枝道生．2001．地域産材の低コスト乾燥技術の開発－高周波加熱減圧乾燥法の活用技術の開発（Ⅴ）－．岡山県木材加工技術センター業務報告．44-48
- 社団法人全国木材組合連合会．2000．わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル．91-92