

構造材等木材の乾燥技術の向上・開発に関する研究 (I)

— スギ柱材の高周波減圧乾燥について —

河崎弥生

1. はじめに

スギ厚材の人工乾燥の難しさが指摘されている。この主な原因としては、スギ材が全体的に初期含水率が高くバラツキも大きい点、さらには心材部仮道管の壁孔閉鎖率が高く気体透過性が悪いことなどがあげられている。

実際に蒸気式などの外部加熱方式による人工乾燥では、12cm角柱材の場合60～70℃域の温度条件を用いて3～4週間の乾燥を行っても、必ずしも十分な仕上がり状態が得られない場合がある。

このような状況を打開するため、蒸煮処理や100℃以上の温度域での乾燥法など様々な手法が検討されている。また、内部加熱方式でかつ減圧下に木材を置くことによって乾燥速度の向上を図ろうとする「高周波減圧乾燥法」も、スギ材の特徴を考慮すると、有効な方法の一つであると考えられる。

当センターにおいては、過去にもスギ柱材の高周波減圧乾燥についての報告を行っている。その時は、予備試験的な段階に留まったため、十分な結果が得られなかった。今回は、誘電加熱効率と相反すると思われるエアギャップを設けるなど、新たな視点に立って実験を実施した。このことより、他の乾燥方法との組み合わせの可能性あるいはその際の問題点などについて検討した。

2. 実験方法

1) 供試材料

県内産の直径18～20cmで長さ3mのスギ丸太材から柱材を荒木取りし、さらにプレーナー掛けして13cm正角に調整した。これをさらに材長方向に2分割して試験材とした。分割の際には両端部、中央部におい含水率測定用の試験片などを採取したため、試験材の長さは130cmとした。また、これらの試験材にはすべて背割りを施した。供試本数は、後述する各乾燥条件ごとに8本づつである。第1表と第2表に、供試材の初期含水率、平均年輪幅などを示す。

2) 試験方法

乾燥には、当センターの高周波減圧乾燥装置を用いた。缶長は2m、発振出力は3Kwである。乾燥試験は、第3表及び第4表に示す2条件(N○1とN○2)を用いて行った。電極の配置は、中央部に(+)電極、両側に(-)電極とした。試験材は一段積みとし、エアギャップを設ける意味で電極との間に栈木を配した。栈木の厚さは、条件N○1が7mm、N○2が27mmのものを使用した。

第1表 乾燥条件No.1の供試材

	初期含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)	心材率 (%)
最小値	77.3	1.7	77.5
平均値	123.5	3.7	88.1
最大値	157.4	5.2	95.0
標準偏差	23.1	1.5	6.6
変動係数	18.7	40.2	7.5

第2表 乾燥条件No.2の供試材

	初期含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)	心材率 (%)
最小値	32.5	2.6	55.0
平均値	71.7	4.2	80.5
最大値	120.3	6.0	92.5
標準偏差	30.7	1.1	13.0
変動係数	42.7	25.8	16.2

第3表 乾燥条件No.1の乾燥条件

缶体内圧力	材温設定	発振方法
150~70Torr	60~70℃	連続

* 電圧5KV, 電流0.5Aを採用した。

第4表 乾燥条件No.2の乾燥条件

缶体内圧力	材温設定	発振方法
150~70Torr	60~70℃	乾燥開始時は3分on-1分off その後は連続

* 電圧5KV, 電流0.5Aを採用した。最終的には0.28Aとなった。

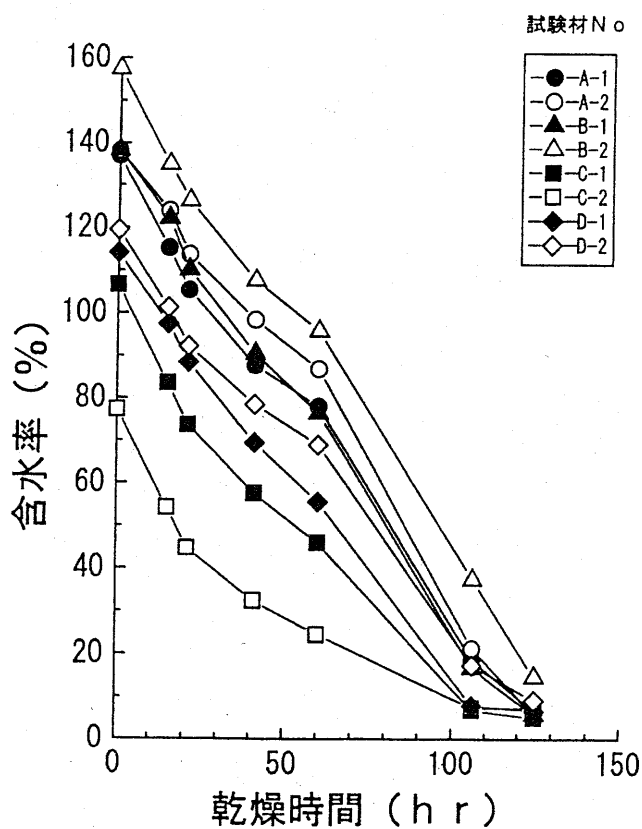
3. 結果と考察

[条件N o 1]

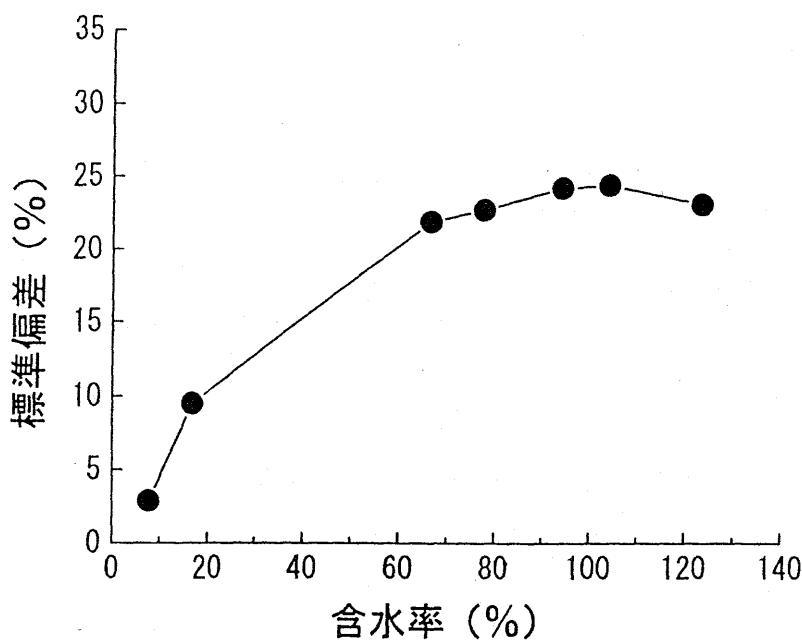
1) 乾燥経過

個体ごとの乾燥経過を、第1図に示す。乾燥経過を見ると、初期においては初期含水率の高低にかかわらず乾燥速度に大差がないことがわかる。すなわちこの時点では、含水率の高低による高周波選択加熱は生じていないと判断される。その後乾燥中期に至って含水率が30%を下回る材が出現すると、乾燥速度に違いが出始める。すなわち、その時点に達して初めて自由水を含む材と結合水のみとの間に誘電特性の違いが生じ、結果として選択加熱が生じるようになるのではないと思われる。言い換えるなら、自由水を豊富に含む材と結合水のみになった材が混在する条件下において、選択加熱的現象が見られると考えられる。

第2図に、ロット全体から見た含水率の標準偏差の推移を示す。ロット内のいずれの個体にも自由水が豊富に存在している乾燥初期には、平均含水率が低下しても標準偏差は小さくならない。乾燥中期に達した頃より次第に標準偏差が低下し始めるということからも、前述の推察が裏付けられる。



第1図 条件N o 1による乾燥経過



第2図 平均含水率の標準偏差の推移 (No 1)

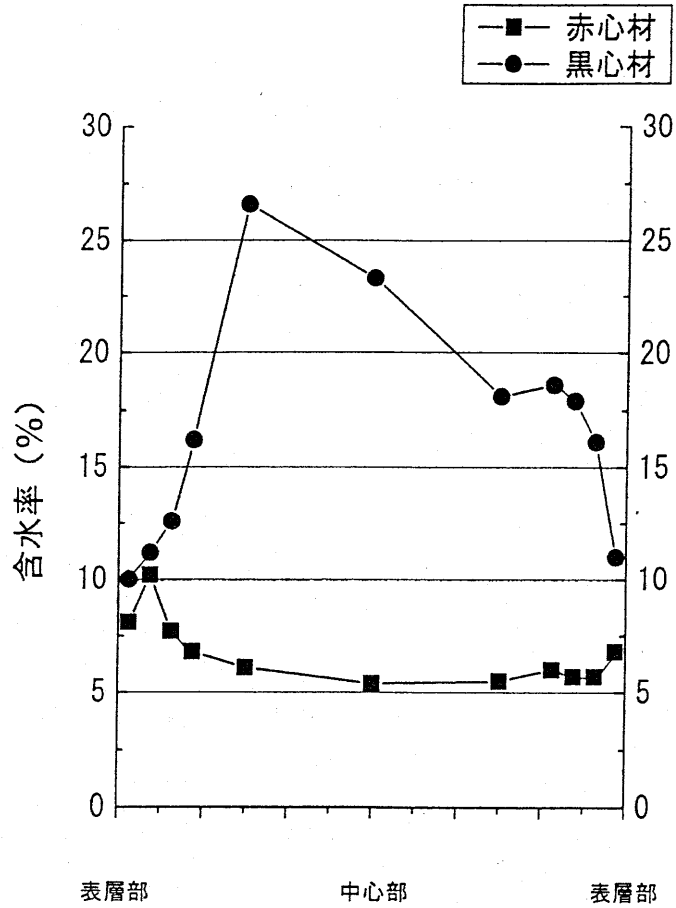
2) 乾燥終了時の水分分布

乾燥終了時の断面方向の水分分布を、第3図に示す。図には、赤心材と黒心材について代表的なものを示す。赤心材では水分傾斜は小さいが、黒心材では大きなものが観察される。また水分傾斜のパターンは、黒心材では表面部より中心部の方が高い凸型を示すが、赤心材ではそれとは逆の凹型を示す。ここで赤心材に見られた凹型の水分傾斜パターンは、高周波減圧乾燥特有のものであると言われている。これは、内部加熱方式では材内部の方が材温が高くなるために、表層部よりも材中心部の方が低含水率まで乾燥が進むためであると説明されている。このことは、理論的には当を得ている。しかし、乾燥終了時から測定時点までの間に表層部において吸湿が生じた可能性も考えられる。本試験においても、乾燥終了後「さまし」工程を経た後に試験材の分割を実施しているため、「さまし」期間中に缶体内が飽和状態になり、材表層部において吸湿が生じたとも考えられる。前述の定説を否定する訳ではないが、このことも考慮した上での考察が必要であると思われる。

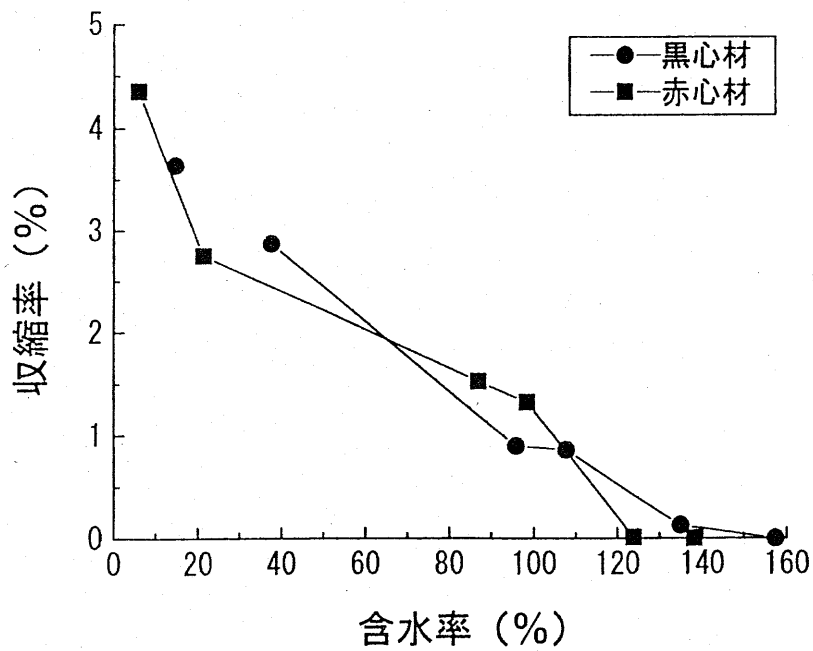
3) 寸法変化

乾燥に伴う収縮を、心材色別に第4図に示す。ここでは、背割りのない3材面の収縮率の平均値で示す。収縮は高含水の領域から生じ、含水率が10%まで乾燥する頃には収縮率で約4%に達する。収縮過程において、黒心材と赤心材による違いは認められない。

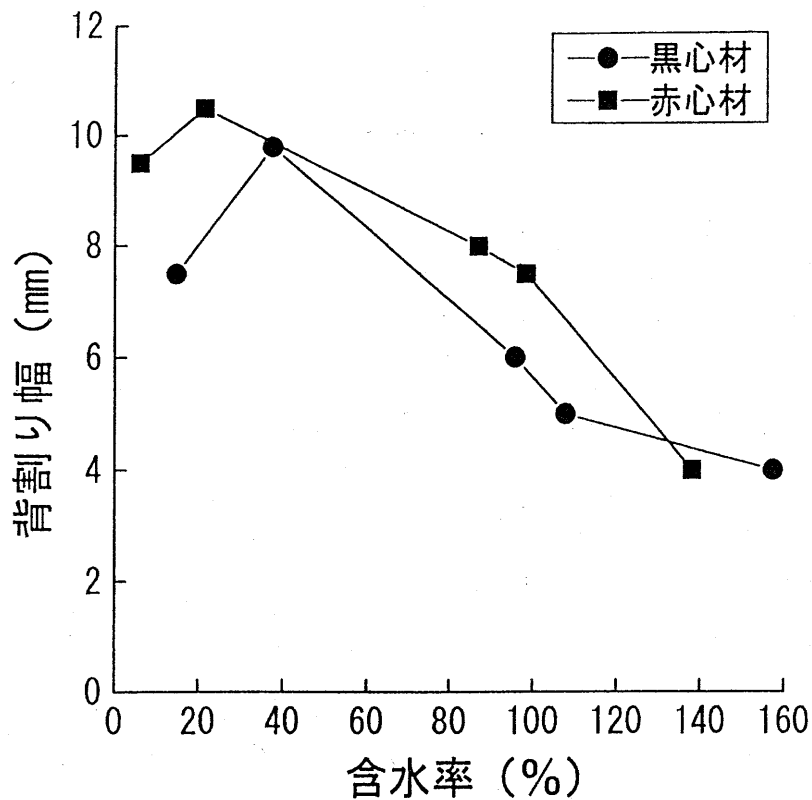
乾燥に伴う背割り幅の推移を、心材色別に第5図に示す。乾燥初期から背割り幅の増大が始まり、赤心材、黒心材ともに当初4mm幅であったものが最大10mm程度まで拡大する。さらに乾燥末期には、最大値よりも1~3mm減少している。



第3図 乾燥終了時の断面方向の含水率分布 (No. 1)



第4図 心材色別の収縮の推移 (No. 1)



第5図 心材色別の背割り幅の推移 (N○1)

4) 欠点の発生

乾燥に伴う欠点の発生状況を、第5表に示す。割れが多く、このままでは役物用の乾燥条件としては適当ではなく、改善が必要である。

曲がり及びねじれに関しては、概ね実用的な範囲内に納まった判断される。

第5表 乾燥条件N○1による欠点等の発生状況

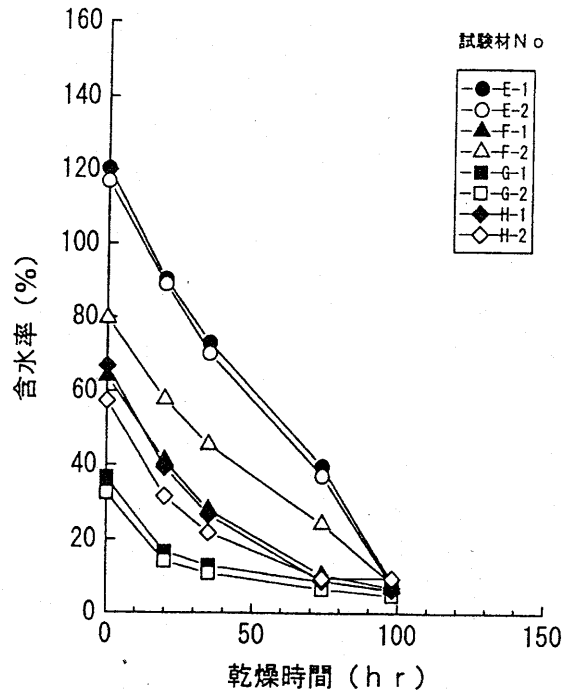
	曲がり	ねじれ	材面割れ率	木口割れ率
最小値	0.8	0.5	8.7	9.0
平均値	1.9	2.3	16.0	17.4
最大値	2.2	7.0	42.6	27.1
標準偏差	0.9	2.0	11.4	5.7
変動係数	46.5	86.4	71.5	32.5

* 曲がり及びねじれは、最大矢高 (mm) で示す。
* 材面割れ率及び木口割れ率は、総材面長に対する割合 (%) で示す。

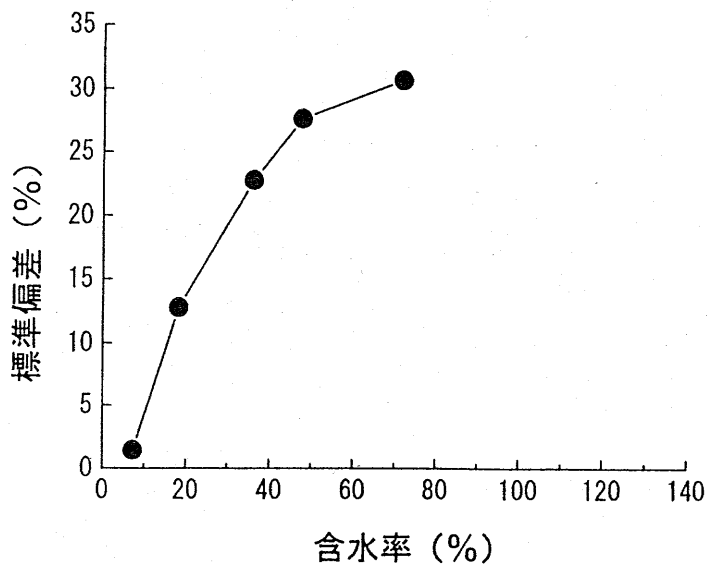
[条件N o 2]

1) 乾燥経過

個体ごとの乾燥経過とロットから見た含水率の標準偏差の推移を、それぞれ第6図と第7図に示す。全体的な傾向としては、前述した条件N o 1におけるものと大差は認められない。



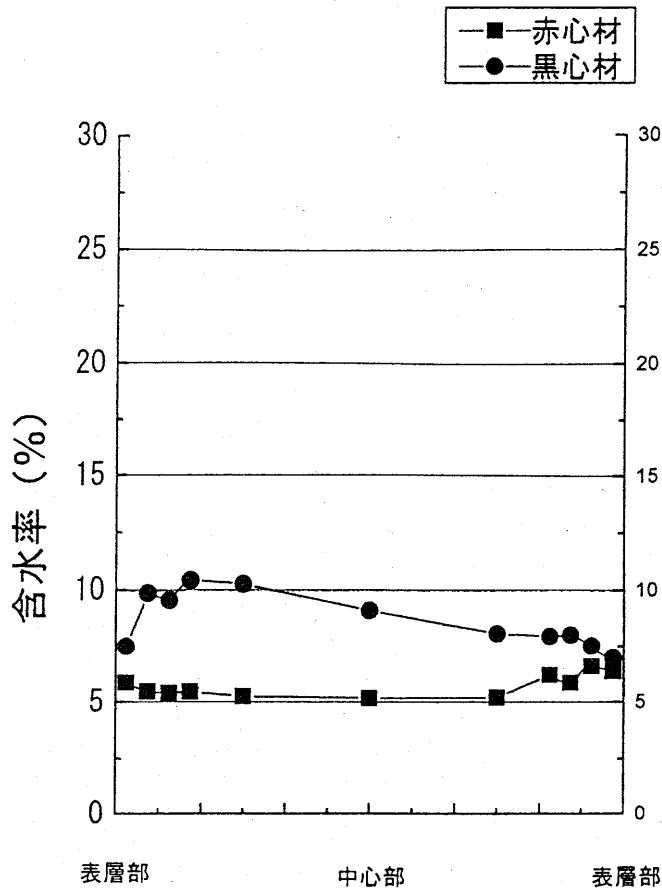
第6図 乾燥条件N o 2による乾燥経過



第7図 平均含水率の標準偏差の推移 (N o 2)

2) 乾燥終了時の水分分布

乾燥終了時の断面方向の水分分布を、第8図に示す。条件N○1における結果と比較すると、黒心材の水分傾斜が小さいが、全体的な傾向には大差は認められない。

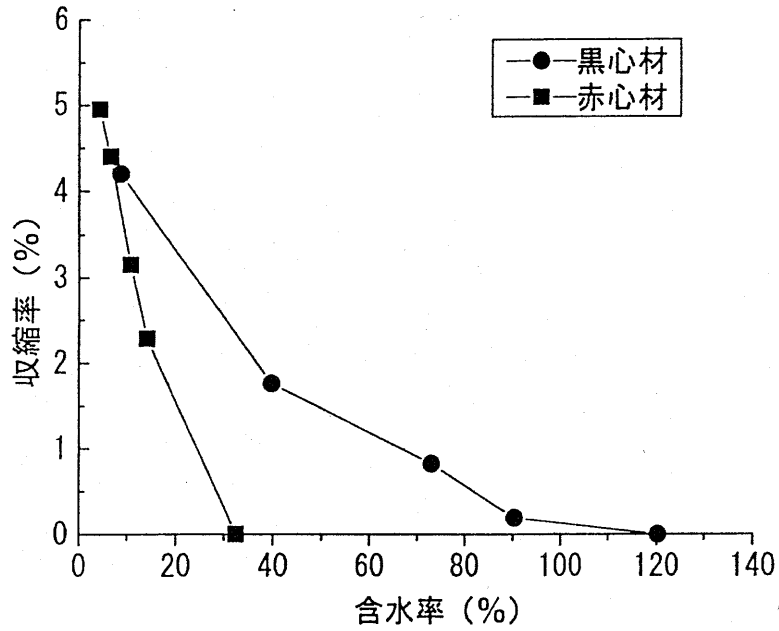


第8図 乾燥終了時の断面方向の含水率分布 (N○2)

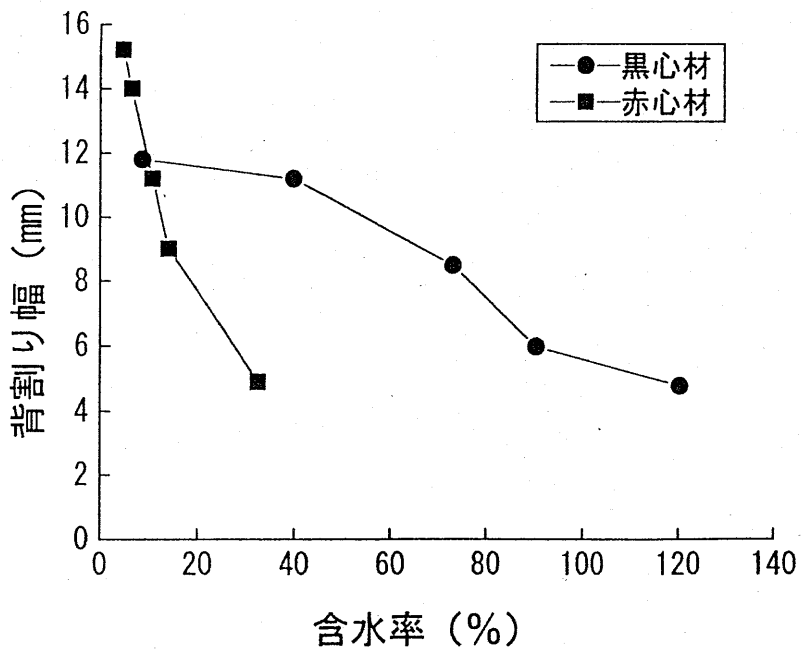
3) 寸法変化

乾燥に伴う寸法変化を、心材色別に収縮率で第9図に示す。初期含水率が大きく異なるため、一見すると条件N○1におけるものとは異なる収縮過程を示しているように見えるが、基本的に差異はない。乾燥に伴う厚材の収縮過程を外寸法と平均含水率との関係で論じるには、水分傾斜のパターンを考慮に入れた考察を行う必要があると考えられる。

乾燥に伴う背割り幅の推移を、心材色別に第10図に示す。黒心材と赤心材では推移の形が異なるように見える。しかし、それはこの図が含水率を軸にして推移を表現しているためである。背割り幅の増減は乾燥応力の発現と深く関係していると思われるため、乾燥応力も含めて検討する必要がある。



第9図 心材色別の収縮の推移 (No.2)



第10図 心材色別の背割り幅の推移 (No.2)

4) 欠点の発生

乾燥に伴う欠点の発生状況を、第6表に示す。条件No1と比較して条件No2は、平均のねじれ量，平均の材面割れ率が小さいが、全体的には条件No1と大差は認められない。

第6表 乾燥条件No2による欠点等の発生状況

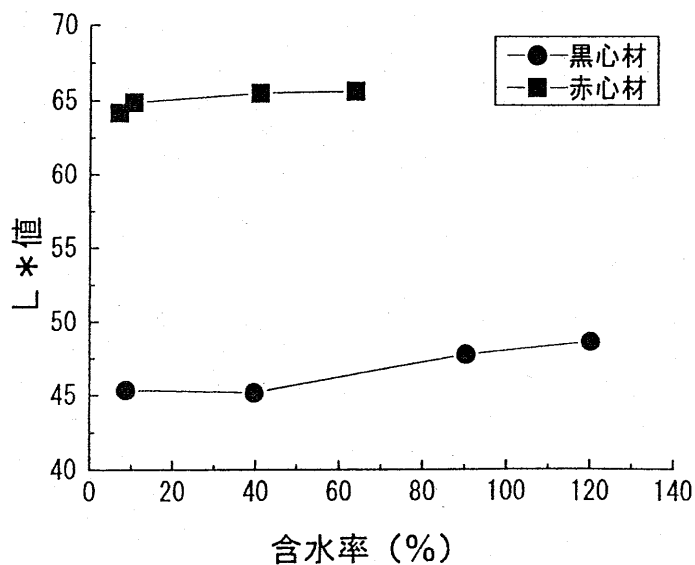
	曲がり	ねじれ	材面割れ率	木口割れ率
最小値	1.0	1.0	0	0
平均値	1.9	1.6	7.6	19.4
最大値	3.0	2.0	28.1	46.9
標準偏差	0.7	1.6	7.6	19.7
変動係数	37.5	25.5	106.9	101.6

* 曲がり及びねじれは、最大矢高 (mm) で示す。

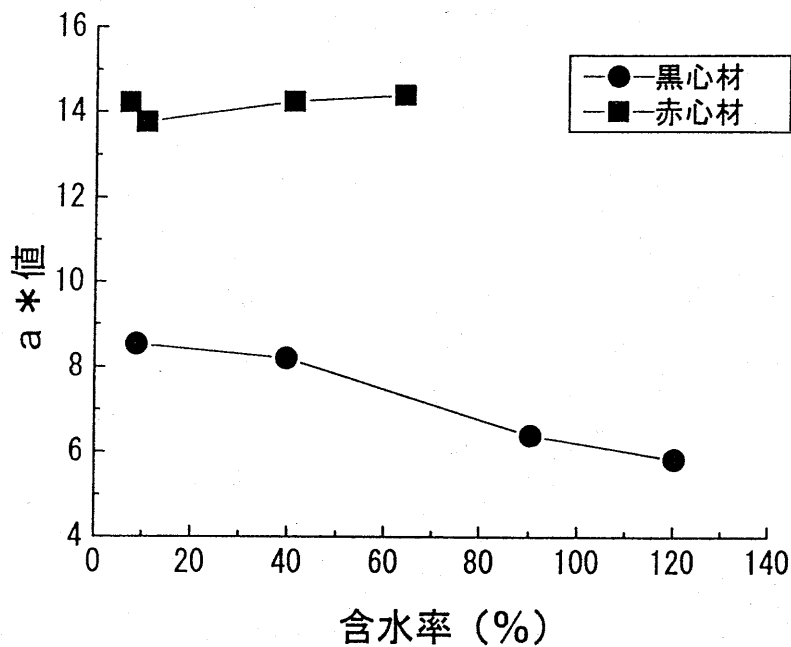
* 材面割れ率及び木口割れ率は、総材面長に対する割合 (%) で示す。

5) 変色

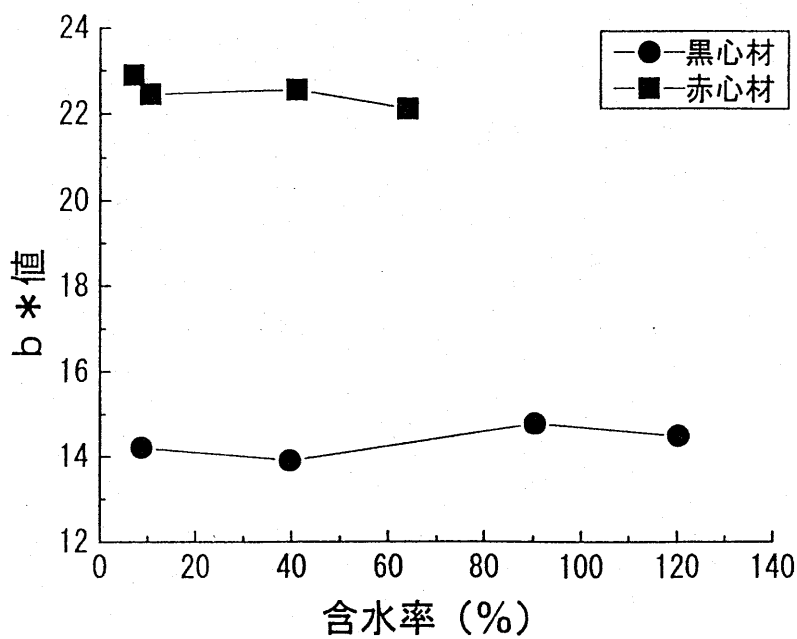
乾燥に伴う材表面の心材色の推移を、L*a*b* 表色系を用い第11図～第14図に示す。赤心材と黒心材では、初期における明度と色相は大きく異なるが、乾燥による変色という視点では問題となる程の差は認められない。変色量ΔEで見ると、赤心材よりも黒心材の方が大きい。しかし絶対値としては、蒸気式乾燥などと比較すると極めて小さい。つまり、材の変色においては高周波減圧乾燥の優位性が明らかである。



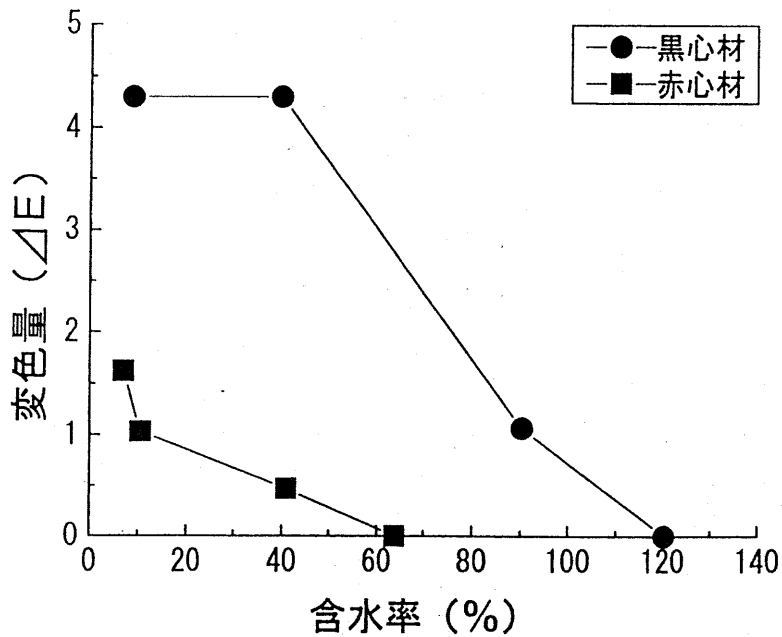
第11図 材色別のL*値の推移



第12図 材色別の a*値の推移



第13図 材色別の b*値の推移



第14図 材色別の変色量の推移

4. 総合考察

1) 乾燥速度

乾燥条件N○1とN○2の平均乾燥速度を第7表に示す。乾燥速度はN○2と比較してN○1の方が40%程度大きい。

第7表 乾燥条件間での乾燥速度の比較

	条件N○1 (栈木厚7mm)	条件N○2 (栈木厚27mm)
初期含水率 (%)	123.5	71.7
仕上がり含水率 (%)	7.7	7.3
乾燥時間 (hr)	125.0	98.0
平均乾燥速度 (%/h)	0.93	0.66

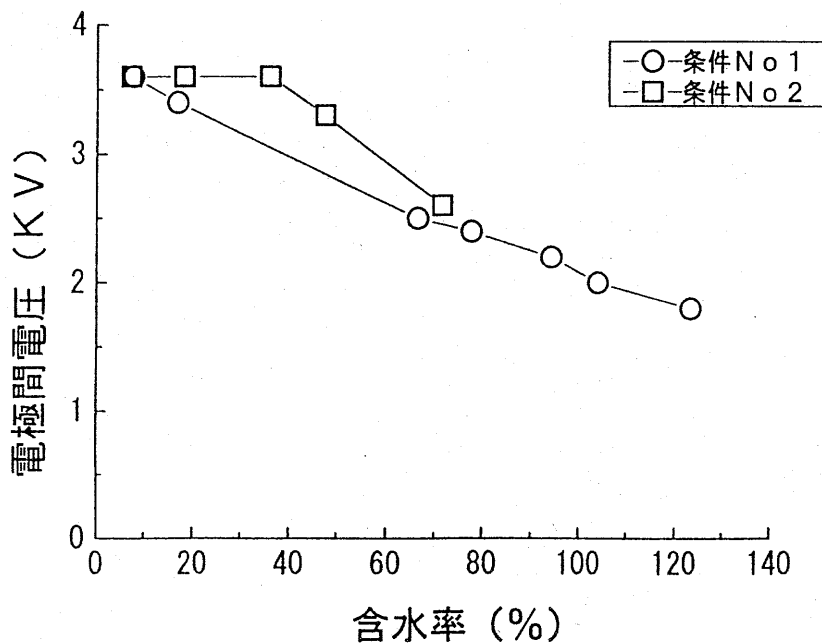
第8表 乾燥条件間での高周波発振率の比較

	条件N○1	条件N○2
乾燥時間 (hr)	125.0	98.0
高周波発振時間 (hr)	93.0	67.4
高周波発振率 (%)	74.4	68.8

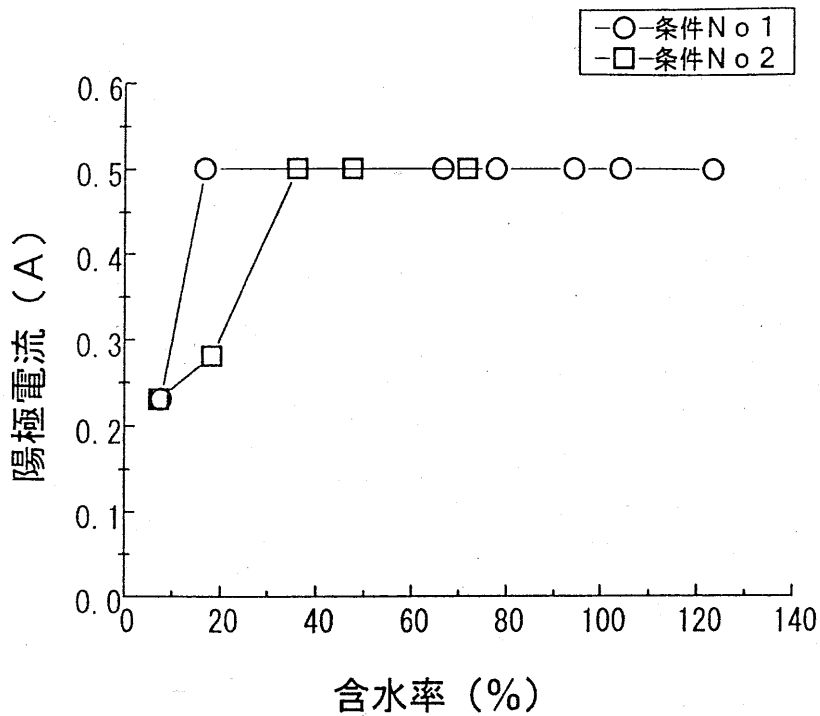
第8表に示す高周波発振率を見ると、条件N01の方がN02より高い。しかし、その程度が1割程度にすぎないことから、乾燥速度に大きく関与している要因は他にあると推察される。この実験では機械的条件等と同じように設定しているため、エアーギャップの違い（条件N01は7mm，条件N02は27mm）が乾燥速度に影響を与えているのではないかと考えられる。

2) 陽極電流と電極間電圧

乾燥に伴う電極間電圧と陽極電流の推移を、第15図及び第16図に示す。エアーギャップが大きい条件N02では電極間電圧が急速に高くなり、設定した3.6KVに早く到達する。この時点からは陽極電流値が下がり始め、熱エネルギーの投与量が減少することになる。電極間電圧の上限の設定値は機械的に設定するものであるが、ここで設定した値は放電限界に近い値であり、陽極電流値を同様に設定してもエアーギャップが大きい方が小さい場合よりも早めに上限設定値に到達する。一旦上限設定値に到達した後は、放電を生じさせないように陽極電流値を低下させることで制御する以外に方法はない。こうなると投与される熱エネルギー量は徐々に減少する。一般にこの現象は乾燥速度が小さくなる乾燥後期に生じるため、乾燥条件としては不利である。このことは高周波乾燥法の一つの欠点と考えられるが、エアーギャップがさらに深く関与していると推察される。以上のことより、積積み状態の木材に高周波を印加する際には、積木厚の限界を考慮する必要があると思われる。



第15図 含水率低下に伴う電極間電圧の推移



第16図 含水率低下に伴う陽極間電流の推移

3) 熱効率

各乾燥条件における熱効率を、第9表に示す。ここでの計算には、高周波発振装置と制御盤に連動した積算電力計の値をそのまま使用している。したがって、発振装置系統におけるロスなどを十分に考慮したものではなく、厳密な熱量計算上の絶対値としては意味がない値である。しかし、装置が実際に消費した電力量の比較（見かけの熱効率）としては有効であると思われる。

この表では、見かけの熱効率に明確な差が認められる。すなわち、エアーギャップが大きい方が熱効率が悪い。このことから、栈積み状態の木材に高周波を印加する際には、乾燥コストとの兼ね合いを考慮して栈木厚の限界点を明らかにしておく必要があると考えられる。

第9表 乾燥条件間での見かけの熱効率の比較

	条件No.1	条件No.2
消費電力量 (KWH)	297.0	217.0
蒸発水分量 (Kg)	72.7	35.0
単位当たりの消費電力量 (KWH/Kg)	4.08	6.20
見かけの熱効率 (%)	16.0	10.5

* 熱効率の算定に当たっては、860Kcal/KWH、蒸発潜熱560Kcal/Kgを用いた。

今回の実験結果より、棧積み状態のスギ柱材を高周波乾燥する際には、棧木厚の詳細な検討が必要であることが明らかとなった。この点を明らかにした上で、他の乾燥方法との複合化を考えるべきである。また今回の実験のみではデータ数が不十分であることに加え、コントロールとなるベタ積み状態のデータが欠落しているため、研究として完結してはいない。

今後も、実験を継続する予定である。