

木材の乾燥過程で発生するAEについての二三の考察（その4）

吸水－乾燥の繰り返しとAE発生

黒岩 真弓・奥村 正悟・藤井 義久

A Few Experiments on Acoustic Emission during Wood Drying IV.
AE Generation during Repeated Cycles
of Wetting and Drying of Wood

Mayumi KUROIWA, Shogo OKUMURA and Yoshihisa FUJII

要 約

乾燥中の木材におけるAEの発生機構を探るための研究の第4報として、スギの辺材と心材から作製した立方体小試片の吸水－乾燥を5回繰り返したときのAE発生、繊維方向厚さを1～10mmとしたヒノキ心材小試片の乾燥過程のAE発生、備長炭試片の乾燥および吸水過程のAE発生について検討した。スギ試片における吸水－乾燥の繰り返しから、AEは乾燥時のみならず吸水時にも短時間ではあるが発生すること、AEの発生経過及び発生数は辺材と心材でかなり異なることが明らかになった。また、ヒノキ試片におけるAEの発生経過は厚さ4mm前後で異なること、備長炭試片の乾燥、吸水過程でもAEが発生することなどが明らかになった。

1. は じ め に

木材の乾燥過程で発生するAEについて種々の観点から検討した結果、AEは生材や乾燥後に吸水させた材のように繊維飽和点以上の十分な水分を含んだ状態から乾燥させると発生するが、その大部分は割れの発生や進展には直接関係しないこと^{1), 2)}、AEの発生総数は乾燥過程での試片の収縮率に比例すること³⁾などが明らかになったが、発生機構にはまだ不明な点が多い。一方、木材の吸水過程でもAEが発生し、その発生量は吸水の繰り返しによって減少することが最近報告されている⁴⁾。また、立木の水分通導系におけるキャビテーション（水切れ）がAEとして検出できること⁵⁾や、木材の乾燥過程で水切れと同様の現象が生起し得ること⁶⁾も報告されている。そこで、木材の乾燥過程におけるAEの発生機構を探るために、スギの辺材と心材の小試片を用いて、吸水と乾燥を繰り返したときのAE発生（実験①）、繊維方向の厚さが1～10mmの間で異なる試片の乾燥過程におけるAE発生（実験②）、水による膨潤収縮のない多孔体である炭とスポンジの乾燥及び吸水過程におけるAE発生（実験③）について検討した。

なお、本研究の概要は第45回日本木材学会大会（平成7年4月、東京）において展示発表した。

2. 実 験

2. 1 試料と実験操作

実験①：スギ生材の辺材（全乾比重0.29）と心材（0.34）から、繊維方向に連続して一辺20mmの立方体試片を作製し、それぞれ3個を60℃、60%RHで乾燥してから供試した。実験では、試片全体を室温の蒸留水に30分間浸漬した後、60℃、60%RHの雰囲気中で24時間乾燥することを5回繰り返し、それぞれの吸水時30分間と乾燥開始後7時間についてAEを計測した。

実験②：ヒノキ心材の気乾材（全乾比重0.40）から、18mm角で繊維方向の厚さが1～10mmの範

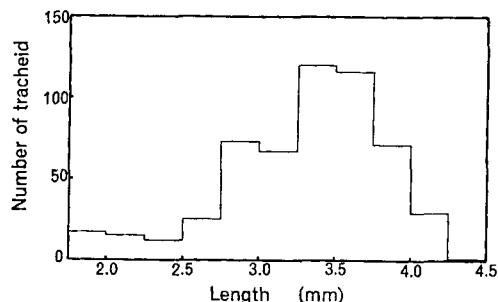


Fig. 1 Distribution of tracheid length of hinoki specimens for Experiment ②.

Notes: mean tracheid length, 3.31mm; standard deviation, 0.26mm.

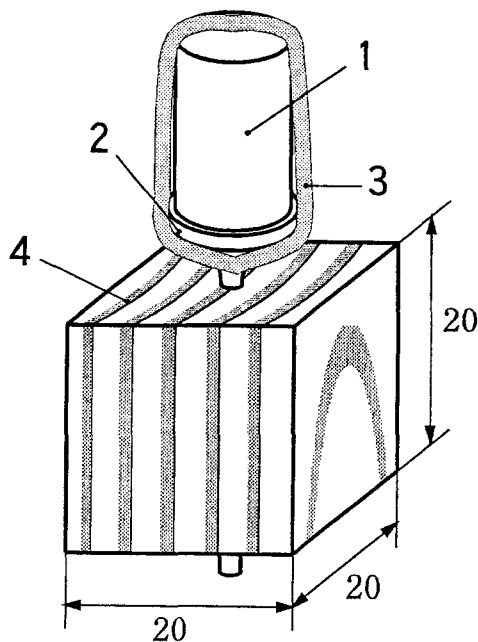


Fig. 2 Specimens and AE sensors mounted for Experiment ①.

1, AE sensor; 2, wave guide of duralumin; 3, rubber band; 4, specimen.

囲で1mmずつ異なる試片を連続的に作製し、減圧吸水させて重量が恒量に達したものを供試した。試片は60℃、60%RHの雰囲気中で乾燥し、そのときのAEを計測した。繊維方向厚さが1～6mmでは各3個の試片それぞれについて実験し、7～10mmでは各1個の試片で3回実験した。なお、用いた試料仮道管長を解離法で測定したところ、平均仮道管長は3.31mmであった (Fig. 1)。

実験③：直方体状の備長炭（13×15×17(L)mm）を蒸留水に144時間浸漬した後、60℃、60%RHの雰囲気中で23時間乾燥させたときの吸水および乾燥時にAEを計測した。

なお、実験①～③における試片の吸水前後、乾燥前後には各試片の寸法と重量を測定した。

2. 2 AE計測

AEセンサは共振周波数140kHzのNF（エヌエフ回路設計ブロック）製AE-901U（実験①）およびNF製AE-901S（実験②、③）を用いた。センサからの出力はプリアンプで40dB増幅し

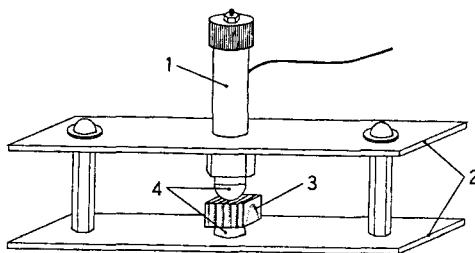


Fig. 3 Mounting of AE sensors on specimens for Experiments ② and ③.

1, AE sensor with sensor holder; 2, aluminum plate; 3, specimen; 4, semisphere of duralumin.

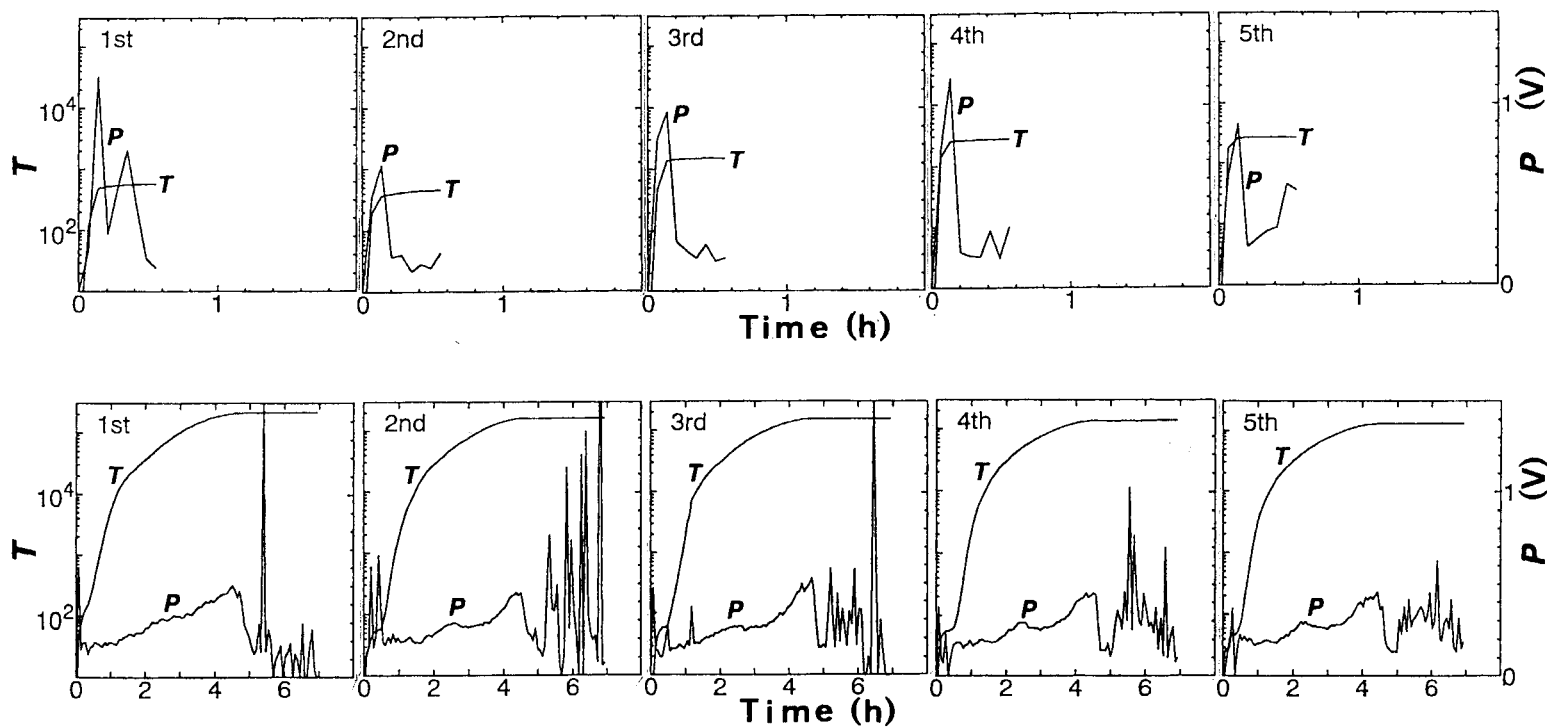


Fig. 4 AE generation during wetting (upper) and drying (lower) of sapwood specimen of sugi in repeated cycle of wetting and drying (Experiment ①).
 T , AE total event count; P , mean AE amplitude per 250 seconds.

た後NF製データチェンバ9640により30dB増幅し（総合利得70dB），信号振幅がしきい値100 mV（実験①，③）または200mV（実験②）を越えたものをAE事象として計測，記録した。センサは，実験①では試片の木口面中央部の貫通穴に差し込んだウェーブガイドにシリコングリスを介してゴムバンドで圧着，固定し（Fig. 2），実験②と③では先端に半球のウェーブガイドを接着してから治具を用いて試片に取り付けた（Fig. 3）。

記録されたAE事象データは専用ソフトウェア（NF製0963）によって解析し，AE事象総数，AE事象率，平均AE振幅（各AE事象の最大信号振幅の250秒ごとの平均値）の時間変化，AE振幅分布，Waveform ratio（AE信号の立ち上がり時間の継続時間に対する比。Fig. 5参照）分布などを求めた。なお，実験③の吸水においては開始後8時間のAE発生について解析した。

3. 結果および考察

3. 1 吸水-乾燥の繰り返しとAE発生（実験①）

スギ生材小試片の辺材を用いて吸水と乾燥を5回繰り返したときのAE事象総数（ T ）と平均AE振幅（ P ）の時間変化をFig. 4に示す。AEは乾燥時だけでなく吸水時にも発生したが，吸水時の事象総数は乾燥時よりも2～3桁少なく，発生経過も違った様子を示した。1回目の吸水では開始後直ちにAEが発生し始め，約15分後に停止した。一方乾燥では，乾燥開始15～30分後にAEが発生し始め，2～4時間後に最も活発に発生し，約5時間後にほとんど停止した。平均振幅は発生開始から次第に大きくなり，停止する少し前に最大値をとる傾向がみられた。2回目以降の吸水乾燥においてこの傾向はほとんど変わらなかった。なお，図にはAE発生がほとんど停止しているにもかかわらず，かなり大きな振幅が記録されている部分があるが，これは散発的に検出される外来ノイズの影響である。

Fig. 5は辺材について，AE信号の解析から得られたAE振幅（最大信号振幅）およびWaveform ratio分布の一例を示したものである。振幅については乾燥時の方が吸水時に比べて小振幅のAEが多い傾向を示し，その形は回を重ねてもあまり変化しなかった。Waveform ratioでは乾燥時には吸水時に比べて立ち上がりの遅い信号の比率が高い傾向がみられ，これも回を重ねてもあまり変化がなかった。

次に，スギ生材小試片の心材を用いて吸水と乾燥を5回繰り返したときのAEの発生経過をFig.

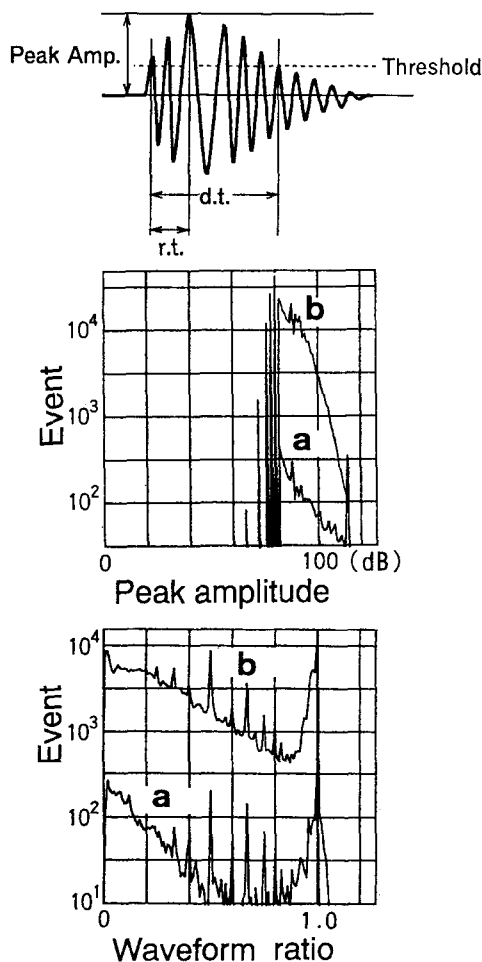


Fig. 5 An example of amplitude distributions (upper) and waveform ratio distributions (lower) of AE signals in wetting (a) and drying (b) of sapwood specimens of sugi.

Notes: waveform ratio = $\frac{\text{rising time (r.t.)}}{\text{duration time (d.t.)}}$

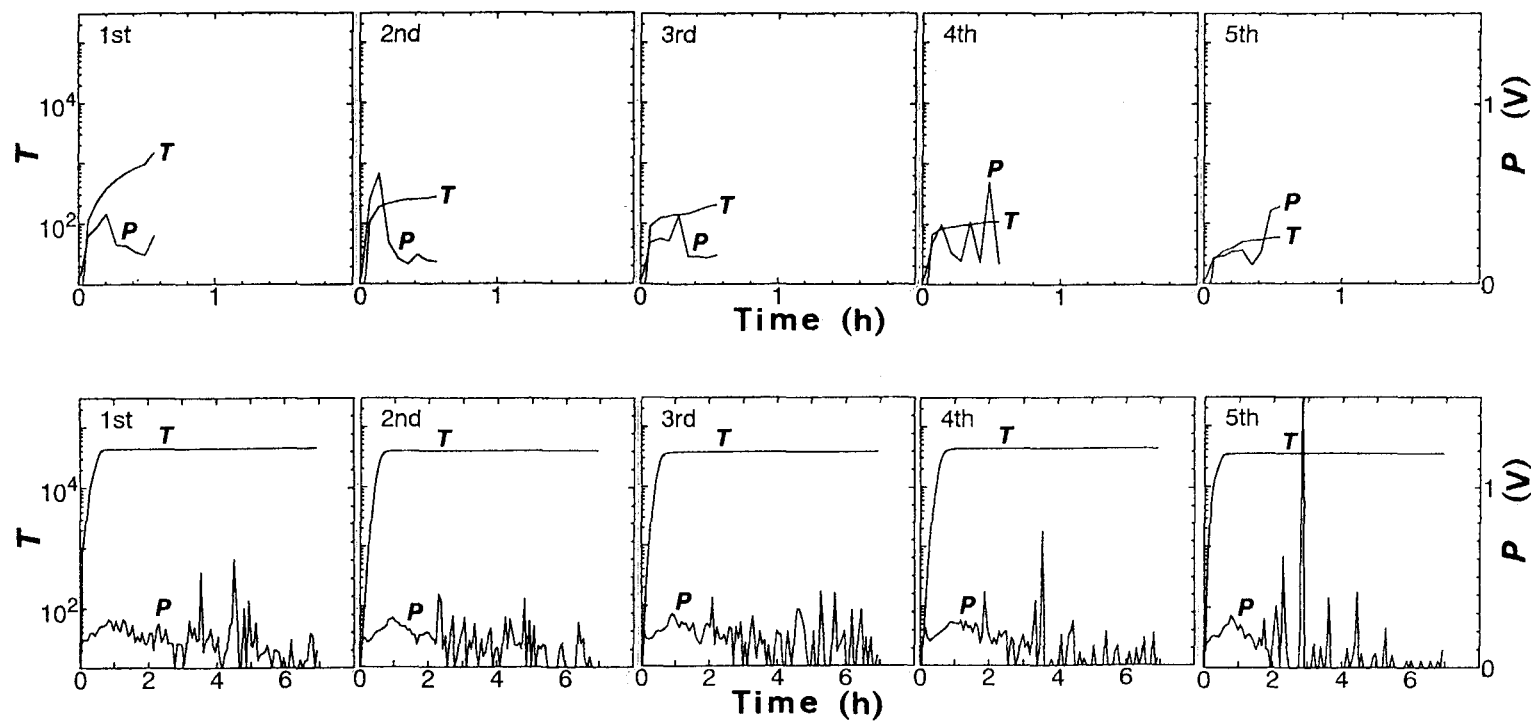


Fig. 6 Same as Fig. 4 but for heartwood specimen of sugi (Experiment ①).

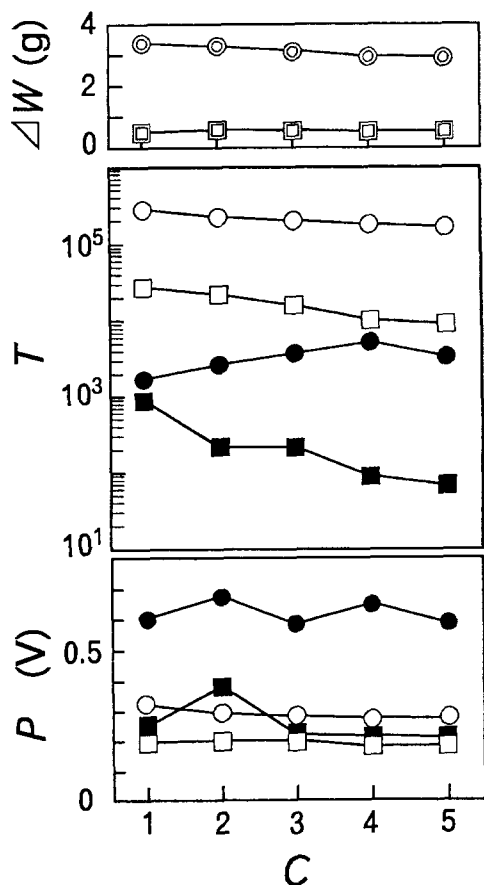


Fig. 7 Relations between repeated cycle (C) of wetting and drying and weight change (ΔW), AE total event (T), and mean AE amplitude (P) for specimens of sapwood and heartwood of sugi. Each plot is the mean of three specimens.

	sapwood	heartwood
wetting	●	■
drying	○	□

して、5回の吸水と乾燥の繰り返しで事象総数が変化することがわかった。さらに、AE発生が吸水時と乾燥時で異なること、また部位（辺材、心材）によって異なることがわかった。

3. 2 繊維方向の厚さが異なる試片の乾燥過程のAE発生（実験②）

木材の吸水、乾燥過程におけるAEの発生は樹種および木取りに特有のパターンを示したり²⁾、辺材、心材に異なるパターンを示したことから、木材の構造がAEと関係があることが予想される。さらに繊維飽和点以上の水分がAEの発生には必要であること^{1), 2)}から、AEの発生と自由水の移動が関係があることも予想される。そこで、本実験ではこの自由水の移動通路である仮道管の状態がAE発生にどのように影響を及ぼすか検討した。

ヒノキ心材の気乾材の繊維方向厚さが異なる小試片を減圧給水させた後に乾燥させたときのAE

6に示す。心材についても、辺材と同様に、乾燥時のみならず吸水時にもAEが発生した。発生経過については、吸水時は辺材と同様であるが、乾燥時では辺材とは異なり、1回目の乾燥では乾燥開始直後からAEが発生し始め、約30分後に発生のピークを示し、約1時間後にほとんど停止した。2回目以降の吸水-乾燥においてこの傾向はほとんど変わらなかった。乾燥時のAE事象総数を示す曲線の傾きは辺材に比べて心材の方が大きかった。また、心材は辺材に比べて大振幅のAEが少ない傾向がみられた。

Fig. 7に吸水-乾燥の繰り返し数とAE事象総数、計測されたすべてのAEについてのAE振幅の平均値、および試片の重量変化の絶対値との関係を示す。なお、各プロットは3個の試料の平均値である。AE事象総数は、辺材では吸水-乾燥の繰り返しの伴い乾燥時には減少、吸水時には増加する傾向を示したが、心材では乾燥・吸水の場合とも減少した。平均AE振幅は、辺材では吸水時の振幅が乾燥時の約2倍であったが、心材では両者の差は小さかった。また、これらの関係は吸水-乾燥の繰り返しによってもほとんど変化しなかった。

なお、吸水前の含水率は辺材11%、心材10%で、吸水後（乾燥前）ではそれぞれ155%、32%、乾燥後では12%、10%であった。そして、吸水-乾燥の1サイクルではほぼ同量の水分が試片を出入りしたが、辺材においてこの水分量は繰り返しの伴わずかに減少する傾向がみられた。

以上のように、AEは試片の乾燥時のみならず吸水時でも発生することが確かめられた。そ

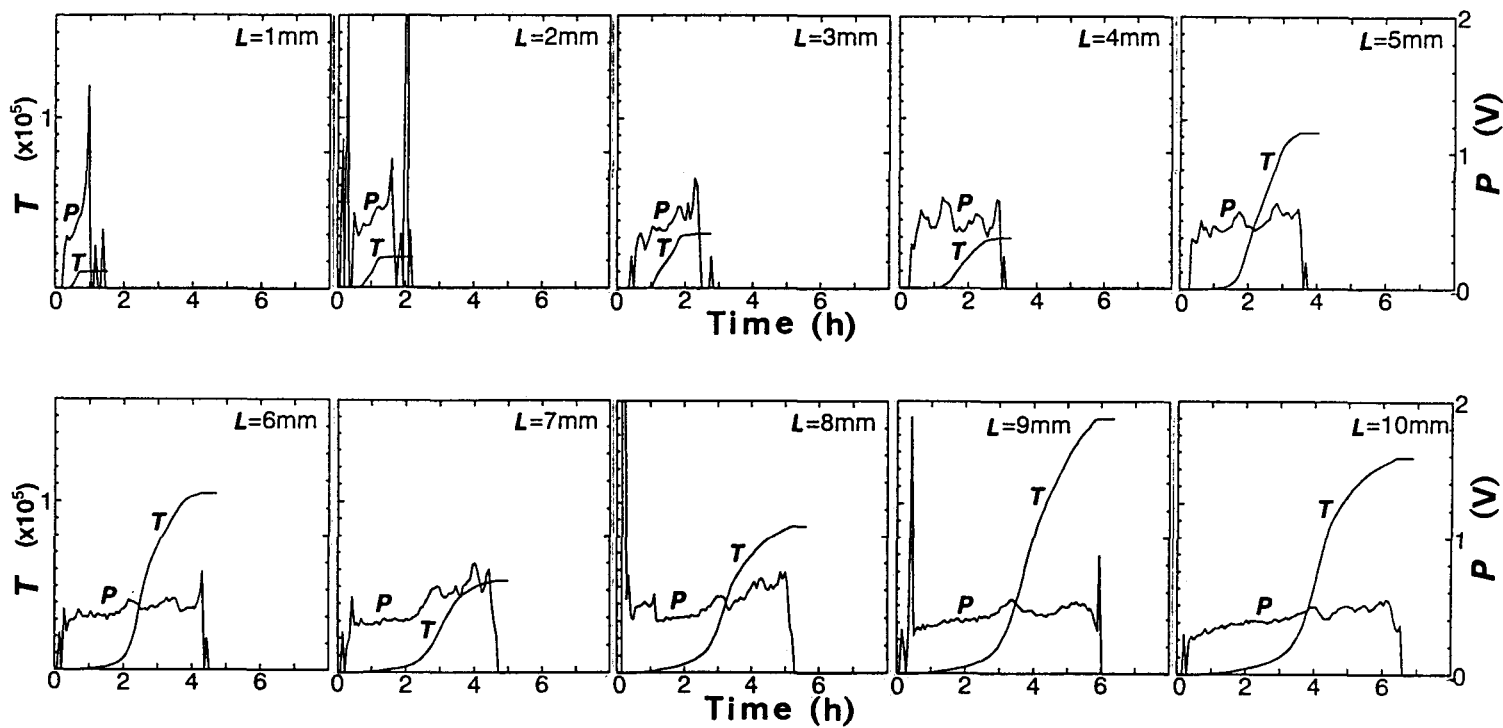


Fig. 8 AE generation during drying of heartwood specimens of hinoki (Experiment ②).
 T , AE total event count; P , mean AE amplitude per 250 seconds;
 L , thickness of specimen.

発生経過をFig. 8に示す。AEは、厚さが1 mmの試片では乾燥開始後約20分から発生し始めて約1時間後には停止し、2 mm以上の試片では乾燥開始後約30分～1時間で発生し始め、厚さが増すにつれて停止までの時間が長くなった。また、AEは3 mmまでの厚さではいったん発生し始めると急激に発生し出すが、それ以上の厚さでは発生してから事象率が約500[／250s]を越えてから急激にAEが発生する傾向がみられた。そのため、厚さ4 mmを境にしてAE事象総数のグラフはS字曲線を描く傾向がみられた。一方、平均AE振幅は発生開始からだんだん大きくなり、停止時付近で最大値をとる傾向がみられた。AE振幅およびWaveform ratio分布の形はどの厚さについてもあまり違いがみられなかった。なお、各試片の乾燥前の含水率は200%で、乾燥後では10%であった。

Fig. 9は試片の厚さと最終AE事象総数の関係を示したもので、AE事象総数は厚さとともに直線的に増加することが分かる。

以上のように、繊維方向の厚さを変えた試片の乾燥におけるAE発生の挙動は厚さ4 mm前後を境に明らかに違ったものとなった。この厚さは、試片平均仮道管長に近い値であり、AE発生には細胞レベルの構造が関係していることが示唆された。

3. 3 炭の吸水及び乾燥過程のAE発生 (実験③)

直方体状の備長炭を吸水させた後乾燥したときの、それぞれの初期8時間についてのAE発生を

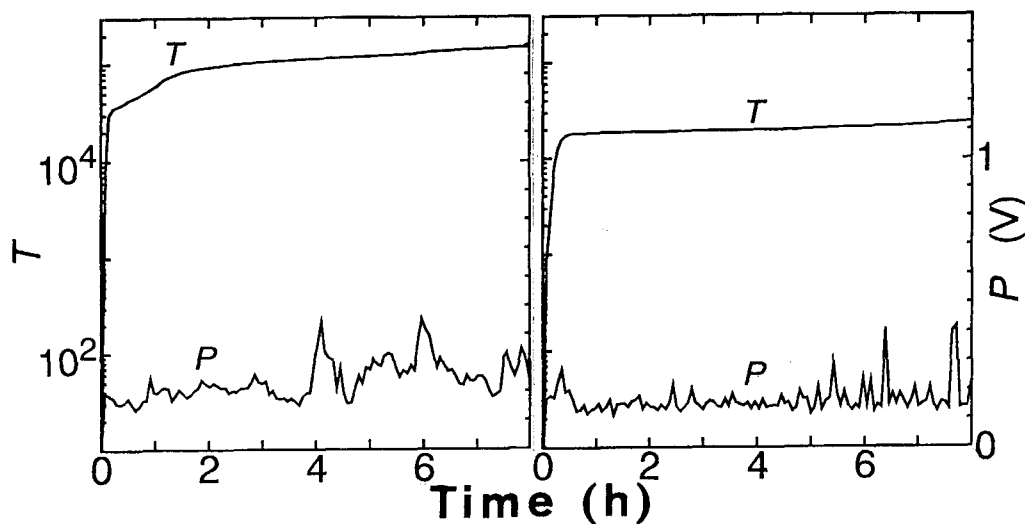


Fig.10 AE generation during wetting (left) and drying (right) of charcoal specimen. T, AE total event count; P, mean AE amplitude per 250 seconds.

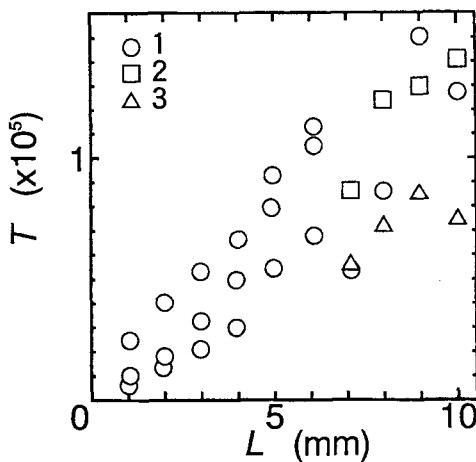


Fig. 9 Relation between thickness of specimen (L) and AE total event count (T) during drying of hinoki.

Notes: Numerals show repeated cycles of drying.

Fig.10に示す。備長炭でも吸水および乾燥過程で木材試片と同様の多量のAE発生が確認されたが、AE事象総数は乾燥時よりも吸水時の方がかなり多く、平均AE振幅は吸水時の方が乾燥時の約3倍であった。吸水では、AEは開始直後から約20分の間に急激に発生し、その後も発生し続けた。一方、乾燥では開始直後からAEが発生したが、約30分でほとんど停止した。平均振幅は発生開始からだんだん大きくなり、停止時付近で最大値をとる傾向がみられた。AE振幅およびWaveform ratio分布の形は吸水と乾燥であまり違いがみられなかった。

なお、予備実験で一辺2 cm程度のスポンジの乾燥時のAEをウェーブガイドを用いて計測した。その結果、室温吸水後の乾燥ではAEが発生したが、減圧吸水後の乾燥ではほとんど発生しなかった。

以上のことから、多孔体という構造では木材と同じであるが、乾燥してもほとんど収縮しないと考えられる備長炭とスポンジの乾燥過程でもAEの発生が検出されたことから、多孔体という構造がAEの発生に関係があることも示唆された。なお、備長炭の吸水時のAEがなぜ乾燥時よりも多くなったのかは今のところ不明である。

4. お わ り に

本報を含めた一連の実験から、木材の乾燥過程で検出されているAEを含めて、木材への自由水の出入りに伴ってAEが発生することは確かであるが、細胞壁の膨潤収縮との関係はまだ不明な点が多い。さらに、本報の実験から多孔体としての木材への水の出入りによってAEが発生する可能性のあることも示唆された。これについては、水分移動、特に自由水の移動とAE発生を同時に計測するといったようなさらなる検討が望まれる。

引 用 文 献

- 1) 奥村正悟・清瀧登志子・野口昌巳(1987) 木材の乾燥過程で発生するAEについての二三の考察. 京大演報. 59. 283-291
- 2) 奥村正悟・丑丸靖史・野口昌巳(1989) 木材の乾燥過程で発生するAEについての二三の考察(続). 京大演報. 61. 319-328
- 3) 奥村正悟・廣瀬浩一・野口昌巳(1992) 木材の乾燥過程で発生するAEについての二三の考察(その3). 京大演報. 64. 209-216
- 4) Rice, R.W. and E. Peacock (1992) Acoustic emissions resulting from cyclic wetting of southern yellow pine. Holz als Roh- und Werkstoff. 50. 304-307
- 5) Tyree, M.T. and M.A. Dixon (1983) Cavitation Events in *Thuja occidentalis* L.? Ultrasonic acoustic emissions from the sapwood can be measured. Plant Physiol. 72. 1094-1099
- 6) 古川安之・金川靖(1992) 木材の乾燥過程における自由水の移動機構. 木材学会誌. 38 (11). 1002-1009

Résumé

This is a continuation of three previous reports to examine the generation mechanism of acoustic emission (AE) during wood drying. First, the AE generation during repeated

cycles of wetting and drying was examined for small specimens (20X20X20mm) prepared from sapwood and heartwood of sugi (Experiment ①, Fig.1). Secondly, the AE generation during drying was examined for specimens 18mm square of hinoki of different thicknesses, 1-10mm, along the fiber length (Experiment ②, Fig.2). Lastly, the AE generation during drying was examined for a charcoal specimen (13X13X17(L)mm) (Experiment ③, Fig.2). The gain and the threshold for AE signals were set at 70dB and 100mV (Experiment ① and ③) or 200mV (Experiment ②) respectively.

It was found in Experiment ① that AEs were generated during both drying and wetting (Figs.4,5,7); The AE total event count changed with the repetition cycle of wetting and drying (Fig.6); AE generation was different between drying and wetting, and also between sapwood and heartwood. In Experiment ②, the process of AE generation during drying varied with the thickness of specimens (Fig.8), and the AE total event was proportional to the thickness (Fig.9). In Experiment ③, it was found that AEs were generated during wetting and drying of charcoal (Fig.10).