

## 安全・安心な乾燥材生産技術の開発 (I)

- 材面割れ及び内部割れの少ない乾燥スケジュールの開発 -

吉田孝久・柴田直明・今井信・山内仁人・松元浩\*

カラマツ及びアカマツの正角材について、材面割れ及び内部割れの発生が少ない乾燥スケジュールを検討し、実証試験により確認した。その結果、内部割れの抑制には、高温セット後の含水率を20~25%程度にする条件が必要であることがわかった。カラマツでは、高温セット時間を決定する際に、熱による強度低下の抑制を割れ発生の抑制よりも優先して考え、高温セット時間を120°C18時間とする推奨スケジュールを提案した。また、アカマツでは、材面割れの発生はやや多いものの、高温セットを110°C24時間とすることが内部割れ抑制に効果があり、推奨スケジュールとして提案した。

キーワード：高温セット時間、内部割れ、材面割れ、カラマツ、アカマツ

### 1 緒言

近年、高温セット乾燥法の普及により、間伐材から得られる心持ち無背割り材について、材面割れを少なくして乾燥することが可能となった<sup>1)</sup>。しかし、この高温セット乾燥法は、全ての樹種に同一スケジュールで対応ができておらず、また、同一樹種であっても地域による材質のばらつきにより、一様に乾燥するのは難しいことも明らかになってきている。さらに、樹種や処理条件によっては内部割れが多く発生する場合がある。この内部割れは表面からは見えないため、強度面で不安を抱く人も少なくない。

一方、高温乾燥により発生する割れと強度性能の関係においては、各分野で多々検討されてはきたが、未だ内部割れと強度性能については説明できるデータが十分整備されてはいない。このことに関しては、消費者のみならず製材品を扱う業界からも、データの早急な整備が望まれている。特に、目に見えない内部割れと強度との関係が明確にされていないことは、不安につながる大きな要因ともなっている。

そこで、本研究では、材面割れ及び内部割れの少ない乾燥技術の開発を行い、割れに対する不安を解消するとともに、割れと強度との関係を明らかにし、強度的に安全で安心して使用できる乾燥材の生産技術の開発を目的とした。

本課題の研究報告は2部に分け、第1部では「材面割れ及び内部割れの少ない乾燥技術の開

発」について報告し、第2部では「内部割れと強度性能の関係」について報告する。なお、第2部では「天然乾燥材と過度の高温乾燥材の強度特性」について本年度報告し、「カラマツ推奨・非推奨乾燥材の強度特性」は来年度の報告とする。

本研究は2009~2011年度の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業の研究課題「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」(中核機関は石川県)で実施した。

### 2 試験の方法

#### 2.1 高温セット時間の違いによる材面割れ及び内部割れ発生量の検討

試験材は、カラマツ及びアカマツを対象とした。製材寸法 14.5×14.5×400cm の正角材をそれぞれ30本準備し、重量が均等になるよう10本ずつ3区分した。

3区分した試験材は、当センター所有の蒸気式木材乾燥装置(正角材で約3.5m<sup>3</sup>収容)を用い、高温セット時間を12時間(10本)、24時間(10本)、36時間(10本)の条件で処理した(表-1, 写真-1)。高温セット処理は、蒸煮(湿球温度を95°Cと設定し、湿球温度が90°Cに達してから8時間処理)の後、乾球温度(DBT)120°C、湿球温度(WBT)90°Cに設定し、それぞれの時間で処理した。

\*石川県農林総合研究センター 石川ウッドセンター

表-1 高温セット条件

樹種	高温セット条件			試験本数(本)
	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(h)	
カラマツ アカマツ	120	90	12	10
			18*	10*
			24	10
			36	10

\*はカラマツのみの条件



写真-1 蒸気式高温乾燥装置での高温セット  
下2段：アカマツ  
中2段：カラマツ  
(上2段：ヒバ)

また、これとは別にカラマツの高温セット 18 時間用として 10 本を追加した (表-1)。

冷却後、長さ方向に 2 分し、片側のみ (2 m) を調査対象として、内部割れ及び含水率、水分傾斜について調査した。

内部割れについては、材長方向での発生状況を調査するため、片側木口面から 2.5cm 部、その後 10cm, 20cm, …… , 160cm 部での切断面に存在する割れを調査した (図-1)。

含水率と水分傾斜は、図-1 に示した片木口から長さ方向に約 90cm 入った部分において全乾法により測定した。

なお、材長方向の内部割れ調査においては、高温セット後の含水率が 20% 以下のグループはそのまま、20% 以上のグループは二次乾燥 (DBT : 90°C, WBT : 60°C) を行い、含水率 20% 以下とした状態で調査を行った。

材面割れの測定は切断前の 4 m 材とし、4 材面について木口から長さ方向に 5 cm までの割れ以外は全て調査した。

材面割れ、内部割れとともに、長さは 1mm 単位、幅は 0.1mm 単位で測定した。

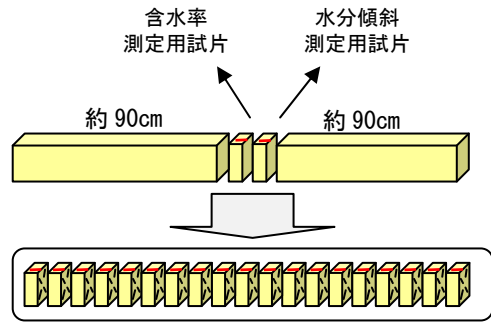


図-1 各試験片の採取

## 2.2 アカマツの材面割れ抑制のための高温セット条件の検討

2.1 項での試験結果において、アカマツは試験を行った 3 条件での高温セットでは材面割れが思ったほど抑制できず、カラマツの材面割れ発生量の 2 倍近くの発生量であった。このため、本項目ではアカマツの材面割れを防ぐための有効な高温セット条件についてさらに検討を進めた。

試験材は、アカマツの 14.5×14.5×400cm 正角材とし、高温セット条件ごとに 10 本ずつを当てた。高温セット条件は、セット温度別及びセット時間別に組み合わせ、計 6 条件を設定した。2.1 項の 3 条件 (C, D, E) と併せて表-2 に示した。

ただし、このうち高温セット 130°C 以上の条件で実際に乾燥試験を行ってみると、高温セット設定温度に到達するのに数時間を要し、たとえば、G 条件の高温セット時間 8 時間では 135°C に到達した時点で既に 8 時間が経過し 135°C を保つ処理ができなかった。

表-2 高温セット条件

条件	初期蒸煮時間(h)	高温セット条件			試験本数(本)
		乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(h)	
A	10	110	90	12	10
B	10	110	90	24	10
C	10	120	90	12	10
D	10	120	90	24	10
E	10	120	90	36	10
F	10	130	90	12	10
G	10	135	95	8	10
H	10	135	95	12	10
I	24	120	90	12	10

※蒸煮温度は 95°C

したがって、今後、短時間で 130℃以上の高温セット条件を確保する場合は、蒸気圧力を現在の 5kg/cm<sup>2</sup> 以上にするか、ヒーターの配管本数を増やす等の工夫が必要と思われた。

高温セット処理後に、材面割れの測定と木口から長さ方向 90cm 付近での全乾法による含水率と水分傾斜及び内部割れの測定を行った。

### 2.3 推奨乾燥スケジュールと非推奨乾燥スケジュールでの実証試験

カラマツ及びアカマツの 14.5×14.5×400cm 材をそれぞれ 20 本準備し、重量が均等になるよう 10 本ずつ 2 区分した。

このうち 10 本の材は、2.1 項と 2.2 項の試験結果から最適と思われた「推奨スケジュール」を想定し、このスケジュールで乾燥した。残り 10 本は「推奨スケジュール」との比較で、内部割れが多く発生すると思われる比較的高温乾燥時間の長い「非推奨スケジュール」で乾燥した(表-3, 表-4)。

これら 2 条件の乾燥スケジュールで乾燥した材は、2 週間の養生をおいた後に内部割れを測定した。

内部割れは、柱材の横断面における発生量を調査するため、片側木口面から 2.5cm の部位、引き続き 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 250cm, 300cm, 350cm, 360cm, 370cm, 380cm, 390cm, 398cm の部位にある割れ長さを調査した。

表-3 カラマツの乾燥スケジュール

推奨スケジュール				非推奨スケジュール			
時間	乾球温度	湿球温度	備考	時間	乾球温度	湿球温度	備考
8	95	95	蒸煮	8	95	95	蒸煮
18	120	90	セット	24	120	90	セット
168	90	60	乾燥	24	110	80	乾燥
				240	90	60	乾燥

表-4 アカマツの乾燥スケジュール

推奨スケジュール				非推奨スケジュール			
時間	乾球温度	湿球温度	備考	時間	乾球温度	湿球温度	備考
8	95	95	蒸煮	8	95	95	蒸煮
24	110	90	セット	62	120	90	セット
72	90	60	乾燥				

## 3 試験の結果

### 3.1 高温セット後の含水率と水分傾斜

高温セット後の平均含水率は、12 時間、24 時間、36 時間の順に、カラマツが 26.5%、22.7%、18.8%で、アカマツが 23.1%、17.7%、13.2%であった。

この時の材内水分傾斜を図-2, 図-3 に示した。両樹種とも 12 時間のセット時間で表層は含水率 15%以下の材が多く、36 時間のセット時間では 10%以下の材が多かった。ここで注目すべきは、表層部分での水分傾斜がアカマツよりカラマツの方が大きい点である。この点について、カラマツ心持ち正角材はほぼ全体が心材であったのに対し、アカマツ心持ち正角材は表層材面がほぼ辺材で形成されていた。乾燥速度が速い辺材で形成されているアカマツは、表層より数センチ入った部分まで乾燥が速かったため、表層からの緩い水分傾斜になったものと思われる。

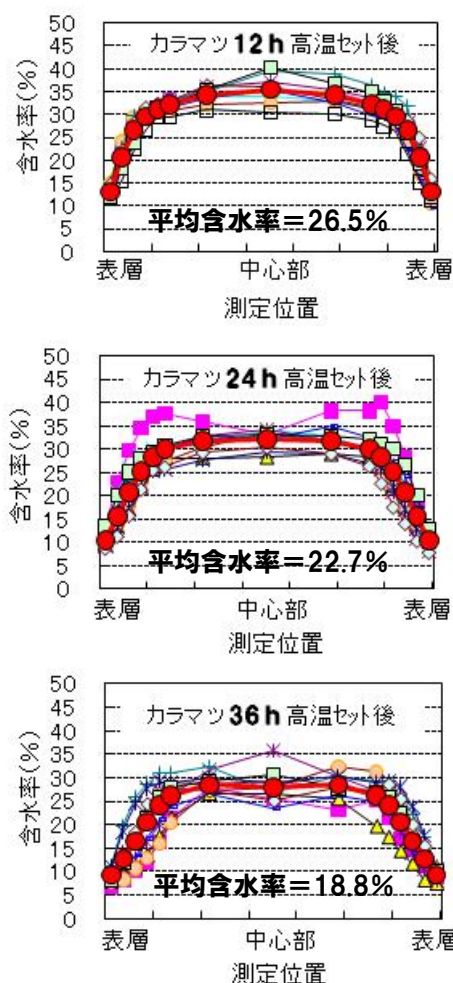


図-2 カラマツの高温セット時間と材内水分傾斜 (太線は平均値) (乾燥後の水分傾斜は資料 1 参照)

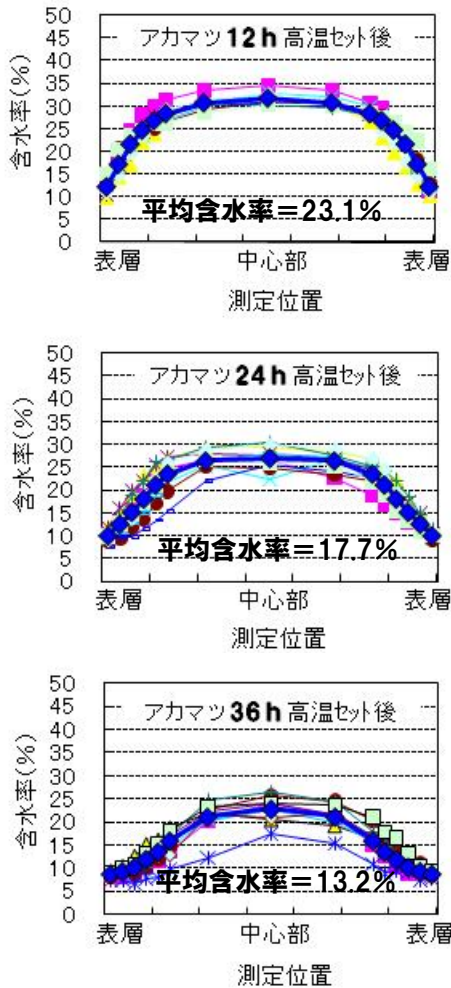


図-3 アカマツの高温セット時間と材内水分傾斜  
(太線は平均値) (乾燥後の水分傾斜は資料2参照)

一般に、水分傾斜が大きければ材面割れが発生しやすく、これを考えると水分傾斜が大きいカラマツの方が材面割れが多く発生するような状況下にあった。しかし、結果はアカマツの材面割れの方が多く (3.2 項を参照)、アカマツの材面割れの原因が水分傾斜に影響しているとは考えにくい。アカマツに材面割れが多い原因については明らかではないが、「アカマツはスギやヒノキに比べ収縮率大きい、引張り破壊ひずみが小さい」という報告もある<sup>3)</sup>。

材の中心部の含水率は、樹種間で差が生じ、中心部の含水率が 30%を下回るのはカラマツが高温セット時間 36 時間、アカマツが同 24 時間であった。アカマツの方が乾燥しやすい樹種であることが示された。

### 3.2 高温セット時間と割れの関係

カラマツは、どの高温セット時間においても材面割れ、内部割れともにアカマツと比較して少なく、特に利用上問題となるような割れは発生しなかった。したがって、今後、カラマツの乾燥スケジュールを考える場合は、材面割れや内部割れの抑制よりは、高温による材質劣化防止に焦点を絞った乾燥スケジュールを検討する必要がある (第2部で検討)。

これに対しアカマツは、材面割れ及び内部割れの発生が大きい材が多く、材面割れについては割れ幅が広い材が外観的にも目立ち、高温セット時間の長短に関係なくかなりの量が発生した (図-4 アカマツ)。したがって、今後、材面割れを防止する高温セット条件、特にセット温度について検討する必要がある (3.3 項で検討)。

アカマツの内部割れの発生は、含水率が 20%を下回った辺りから目立ち始め、高温セットを 36 時間行った材では含水率が 15%を下回り、大きな内部割れが発生する傾向にあった (図-5 アカマツ)。

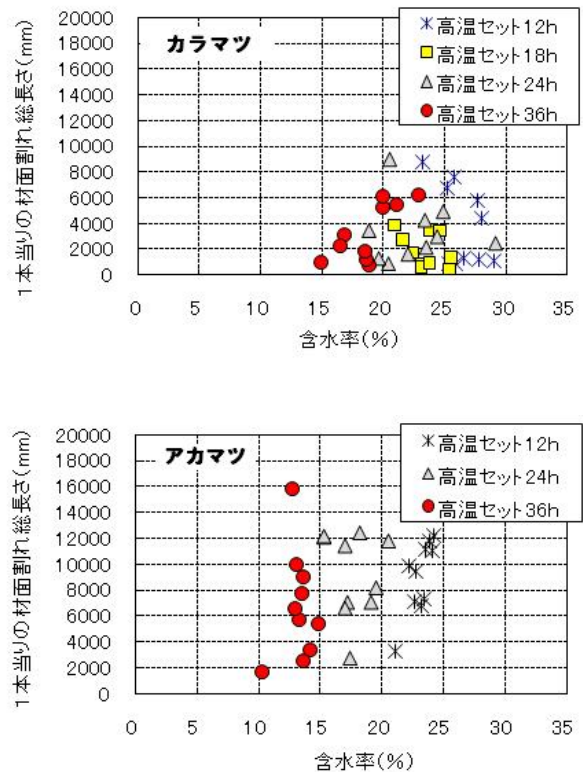


図-4 高温セット後の含水率と  
材面割れ長さの関係

内部割れの材長方向の発生量を見ると（図-6，写真-2），両樹種とも木口面に近い部分が最も多く，そこから徐々に減少し 20~30cm 入った部分からはほぼ一定量となった。

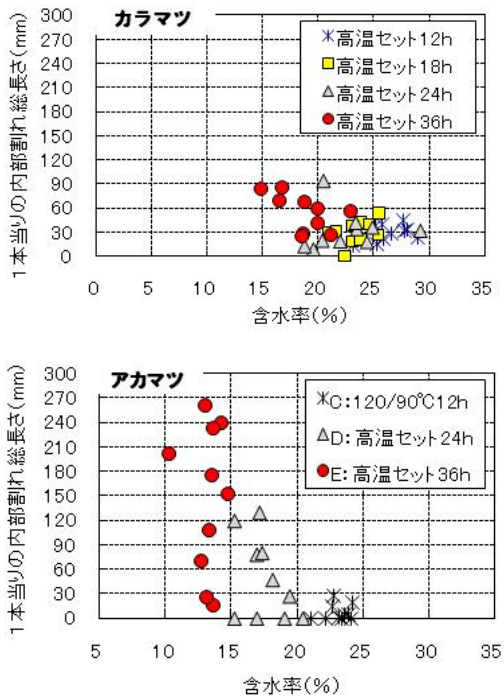


図-5 高温セット後の含水率と内部割れ長さの関係（4m材の中央部）



写真-2 同一材における内部割れ発生の様子（例）  
（高温セット 24 時間）

左列写真：木口より 2.5cm 入った部分  
右列写真：木口より 30cm 入った部分

（高温セット 12 時間における材長方向の内部割れ発生状況の写真は資料 6，7 参照）

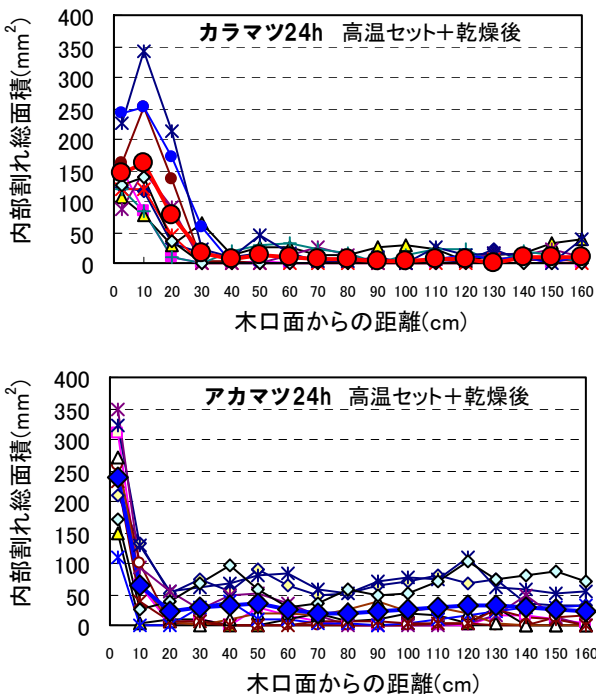


図-6 木口面からの距離と内部割れ総面積  
（太線は平均値）

（高温セット時間別の内部割れ発生は資料 3，4，5 参照）

### 3.3 アカマツの材面割れ抑制のための高温セット条件の検討

高温セット条件の詳細とセット終了時の含水率の結果を表-5 に，高温セット条件別の材内水分傾斜を図-7 に示した。また，高温セット条件別の材面割れ発生量を図-8 に示した。図-8 の図中には比較のため 2.1 項で調査したカラマツの結果も加えて示した。

材面割れの発生量をみると，アカマツの材面割れは，いずれの高温セット条件でもカラマツよりも多かった（写真-3，図-8）。カラマツの発生量は試験材 1 本当たりの平均で約 3,000mm であるのに対し，アカマツでは平均 5,000~6,000mm となり，カラマツのおよそ 2 倍の発生量であった。

その中でも比較的少ない傾向にあったのは，セット温度が 110°C の A，B 条件と 135°C の H 条件，それと他の条件よりも初期蒸着時間を 24 時間と長くした I 条件であった。

セット後の含水率はどの条件においても 30% 以下であり，含水率と材面割れの関係は，明確ではなかった (図-9)。

内部割れの発生状況を図-10 に示す。内部割れは，セット後の含水率を 25%以下にすると発生が多くなった。このことから，内部割れを抑制するには高温セット終了時の含水率を 25~20%以下にしないような高温セット条件とすることが重要であると思われ，このためには，高温セット温度 110℃~120℃の場合は 12 時間，130℃の場合は 8 時間程度が適当であると思われた。

セット後の含水率が 13.2%と低かった E 条件では内部割れが多く，これは材中心部の含水率が 20%に近い値であり，他の条件よりも含水率がかなり低かったことが多量の内部割れの発生につながったものと思われた (図-7)。

表-5 高温セット条件  
※条件 C. D. E は 2.1 項で実施  
※試験材は各 10 本

条件	蒸煮 (95℃) 設定時間 (h)	高温セット 温度 (℃)		高温セット 時間 (h)	セット後の含水率 (%)
		乾球 温度	湿球 温度		
A	10	110	90	12	25.3
B	10	110	90	24	20.8
C	10	120	90	12	23.1
D	10	120	90	24	17.7
E	10	120	90	36	13.2
F	10	130	90	12	17.5
G	10	135	95	8	23.5
H	10	135	95	12	19.4
I	24	120	90	12	20.7

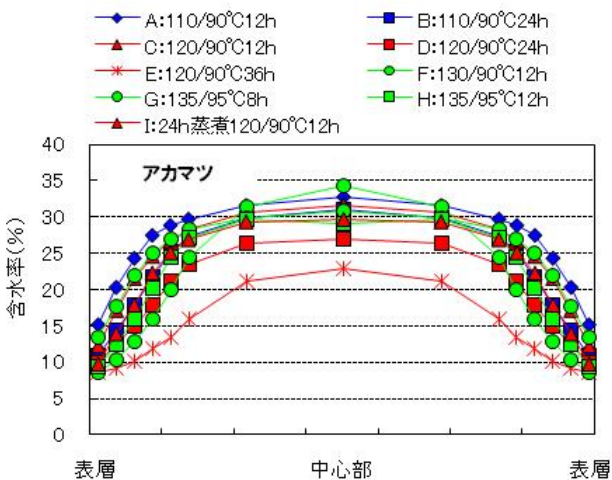


図-7 高温セット後の材内水分傾斜 (各条件別試験材の平均値)

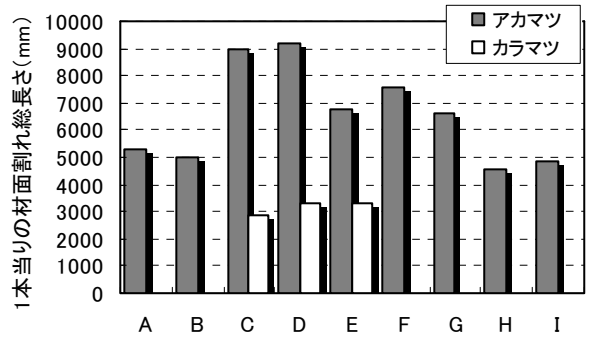


図-8 アカマツの高温セット条件別の材面割れ発生状況 (各条件別試験材の平均値)



写真-3 材面割れの様子 (アカマツ)

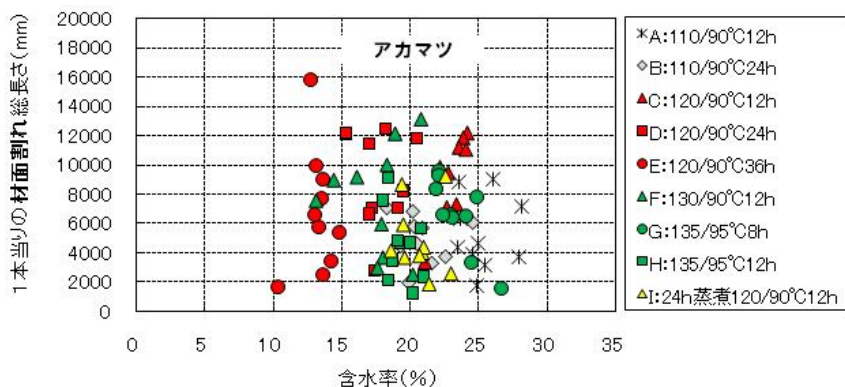


図-9 含水率と材面割れの関係 (アカマツ)

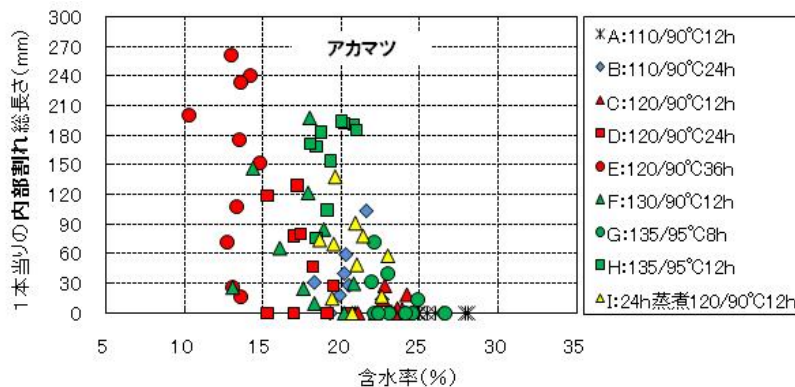


図-10 含水率と内部割れの関係 (アカマツ)

### 3.4 推奨スケジュールと非推奨スケジュールにおける材面割れと内部割れ

前項までの試験結果を踏まえ、カラマツ・アカマツについて割れ（材面割れ・内部割れ）の少ない推奨スケジュールを設定し実証試験を実施した。また、割れが多く発生すると思われる非推奨スケジュールについても並行して実施した（乾燥スケジュールは表-3, 表-4）。

推奨スケジュールと非推奨スケジュールにおける試験材 1 本当たりの材面割れの発生量を図-11 に示した。

カラマツとアカマツの材面割れの発生量の違いは、これまでの試験と同様に今回の試験でも示された。図-8 に比べ、全体的に材面割れが少なかったのは、図-11 がセット+乾燥であり、乾燥の進行により材面割れの閉塞が起きたこともその一因であると考えられた。

推奨スケジュールと非推奨スケジュールの両スケジュールにおいて、アカマツの材面割れはカラマツの 4～6 倍も多く、アカマツに関しては、更なる材面割れ抑制の乾燥スケジュールの検討が必要である。

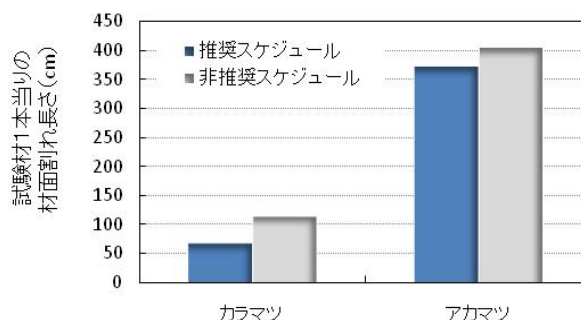


図-11 推奨スケジュールと非推奨スケジュールにおける材面割れ

図-12 と図-13 に推奨スケジュールと非推奨スケジュールにおける試験材 1 本当たりの内部割れの発生量を示した。

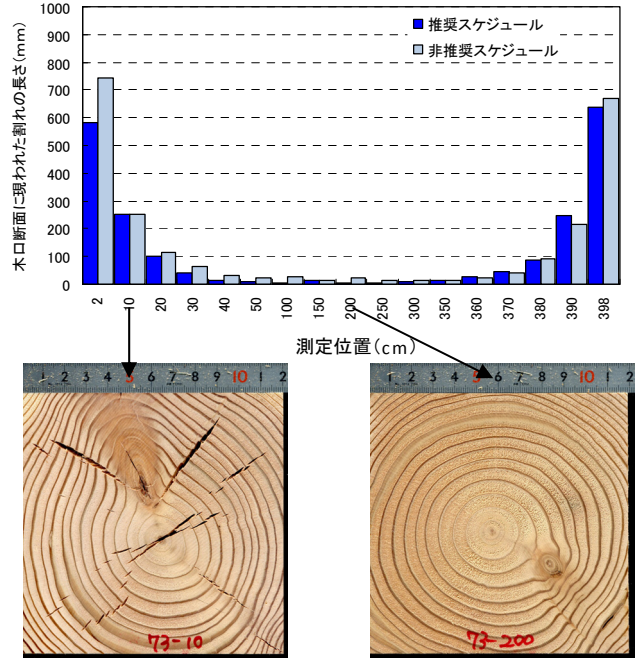
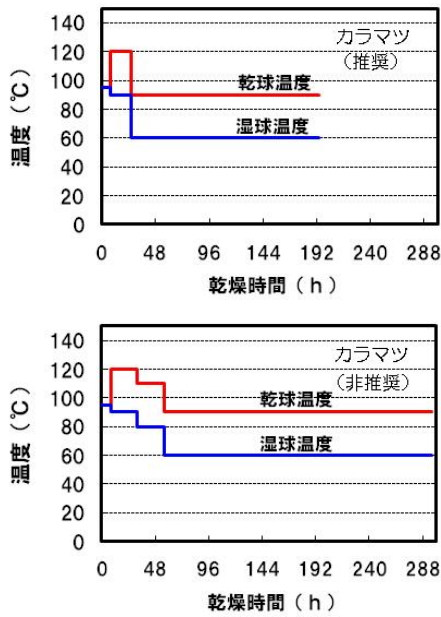
カラマツは、過度な乾燥=非推奨スケジュールの乾燥においても内部割れの発生は少なかった。しかし、非推奨スケジュールで乾燥した材の強度性能は、推奨スケジュールに比べ明らかに低下することから（本課題第 2 部参照）、構造材として利用する材にあっては 100°C 以上の高温をできるだけ短時間とすることが懸命であると判断し、表-6 の更なる推奨スケジュールを提案した。この 110°C の更なる推奨スケジュール乾燥において

も、材面割れ及び内部割れの発生は少ないものであった。

また、アカマツについては推奨スケジュールで乾燥することにより、材面割れについては、これまでの材面割れ発生量と大きな変化はなく、満足するまでの値ではなかったが、内部割れの発生はかなり抑制できることがわかった。

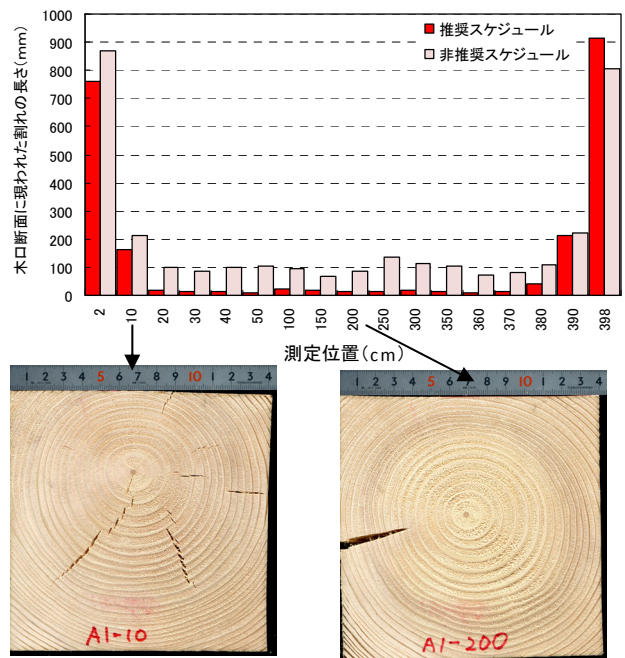
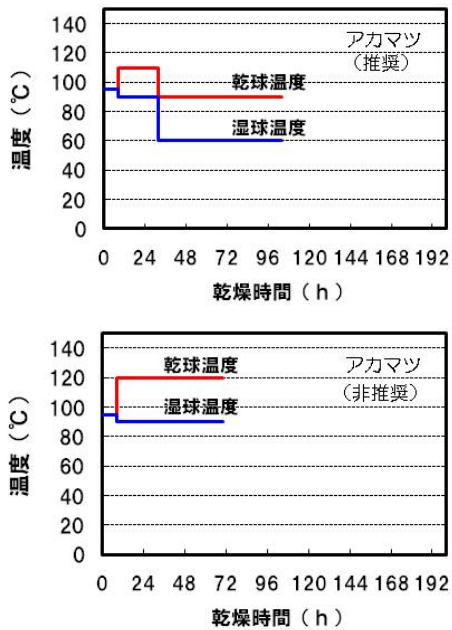
表-6 強度劣化を抑えた更なる推奨スケジュール

更なる推奨スケジュール (カラマツ)			
時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	備考
8	95	95	蒸煮 高温セット 乾燥
18	110	80	
168	90	60	



推奨スケジュール

図-12 カラマツ乾燥スケジュールと内部割れ



推奨スケジュール

図-13 アカマツ乾燥スケジュールと内部割れ



両樹種における長さ方向の内部割れの発生は、2.2 の項での試験結果と同様に木口付近に多く発生し、その発生量は木口から離れるに従い徐々に減少した。

カラマツでは木口から材長方向にほぼ 30cm 内側に入った位置、アカマツではほぼ 20cm 内側に入った位置で内部割れ長さは 50mm 以下となった(図-12;カラマツ, 図-13;アカマツ)。

推奨スケジュールで乾燥したそれぞれの樹種について、木口から 10cm の部位と 200cm の部位の平均的な内部割れ発生量を図中の写真に示した。

### 3.5 まとめ

カラマツ及びアカマツの正角材について、材面割れ及び内部割れの発生を少なくするための乾燥スケジュールを検討し、これを実証試験により確認した。

その結果、内部割れの抑制には、高温セット後の含水率を 20~25%程度にする条件が必要であることがわかった。

カラマツでは、高温セット時間を決定する際に、熱による強度低下の抑制を割れ発生の抑制よりも優先して考え、高温セット時間を 120°C18 時間とする推奨スケジュールを提案した。

また、アカマツでは、材面割れの発生はやや多いものの、高温セットを 110°C24 時間とすることが内部割れ抑制に効果があり、これを推奨スケジュールとして提案した。アカマツについては、材面割れ抑制について更なる追求が必要である。

#### 【参考文献】

- (1) 吉田孝久・橋爪丈夫・徳本守彦・武田孝志・印出晃：スギ心持ち無背割り柱材の高温乾燥における高温セット法の割れ防止効果について、長野県林業総合センター研究報告, No. 18, 125-139 (2004)
- (2) 吉田孝久・橋爪丈夫・他 3 名：スギ心持ち無背割り柱材の高温乾燥における高温セット法の割れ防止効果について, 材料, Vol. 53, No. 4, 364-369 (2004)
- (3) 加世田純之助・藤本登留他：心持ち柱材の表面割れに関連する 4 樹種の材質比較, 第 62 回日本木材学会大会研究発表要旨 CD, (2012)

- (4) 印出晃・檜原正規・徳本守彦・他 4 名：高温セット法によるスギ心持ち柱材の人工乾燥 (I) - 初期高温セット時間の割れに及ぼす影響 -, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 127, (2003)

- (5) 吉田孝久, 伊東嘉文, 橋爪丈夫：高温セット法における材面割れと内部割れ抑制 - 高温セット後の中温乾燥及び高温セット後の高周波減圧乾燥 -, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 114, (2003)

- (6) 小林功, 石川敦子, 黒田尚宏：高温域における圧力制御によるスギ柱材の乾燥, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 120, (2003)

- (7) 平川泰彦, 山下香菜, 齋藤周逸・他 2 名：材質が異なるスギ正角材を高温乾燥したときの内部割れ及び狂いの発生の違いについて, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 120, (2003)

- (8) 片桐幸彦・占部達也・村上英人：高温低湿乾燥における処理時間が材品質に及ぼす影響, 第 54 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 534, (2004)

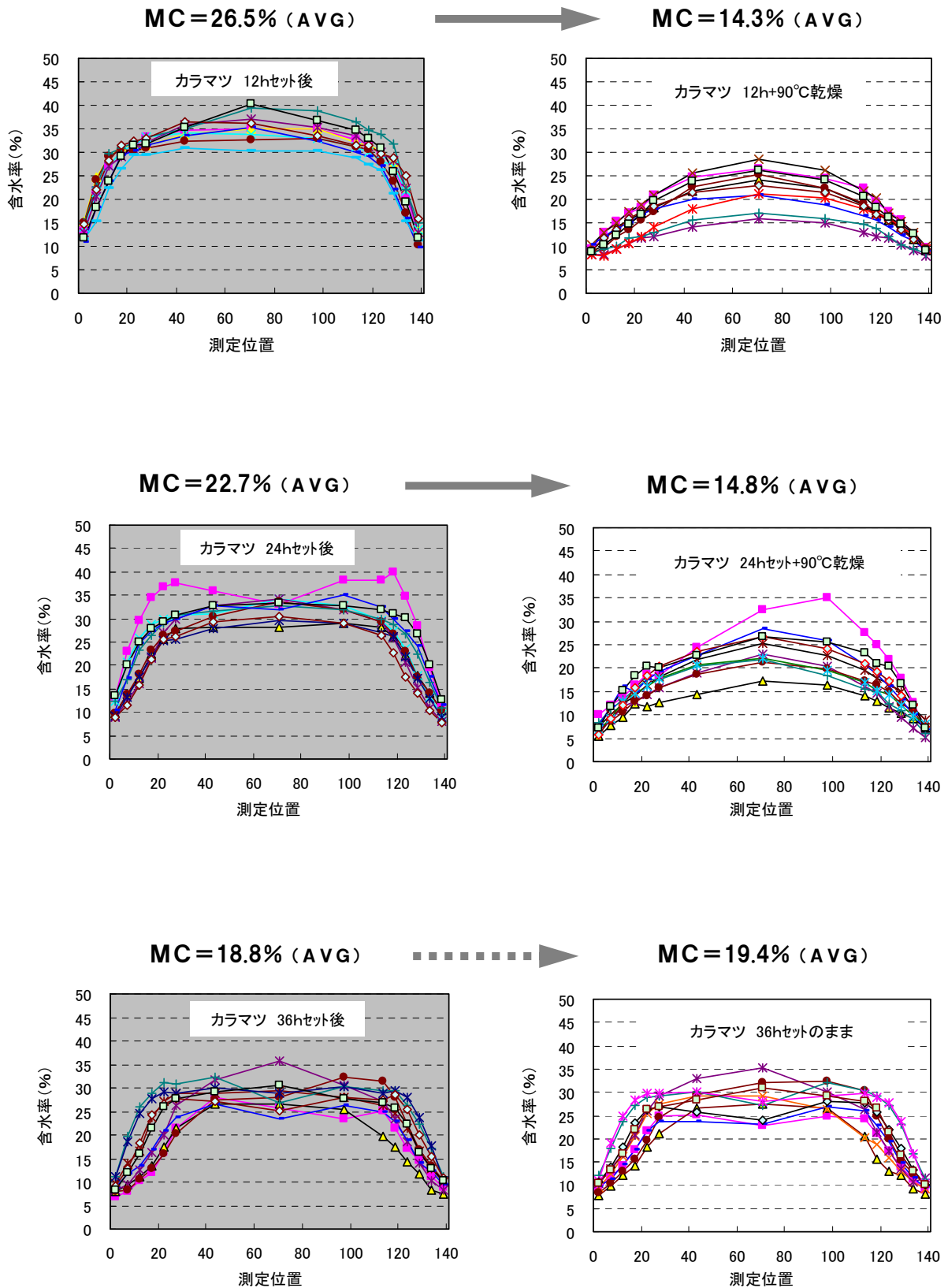
- (9) 松清幸司・藤本登留・小田久人・蛭原啓文：宮崎県産スギ高含水柱材の高温低湿乾燥における表層乾燥ステージの効果, 第 55 回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD, (2005)

- (10) 片桐幸彦・藤本登留・村瀬安英：スギ心持ち柱乾燥材の品質に対する高温低湿前処理時間の影響, 木材工業, 60(6), 262-266, (2005)

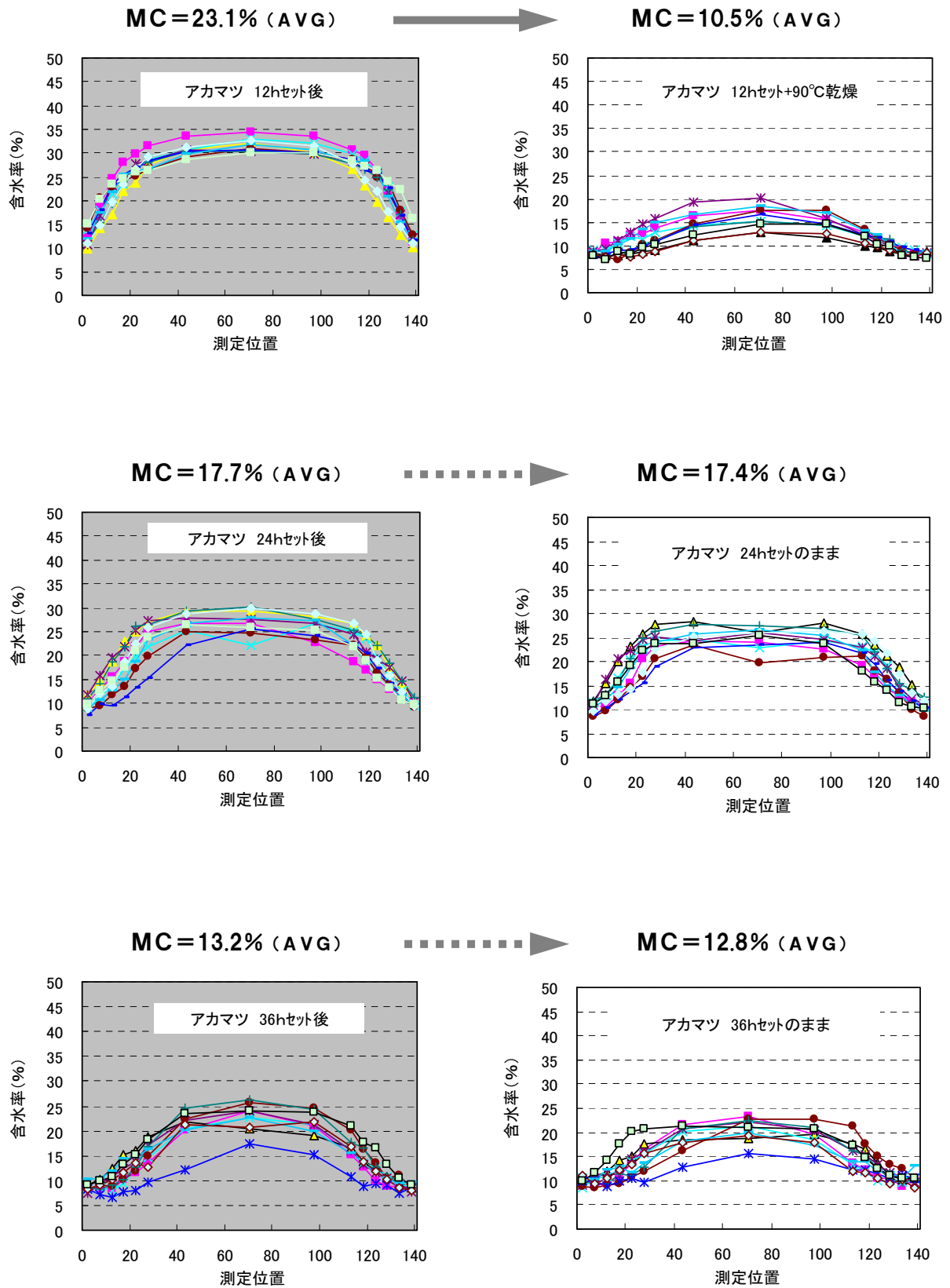
- (11) 植原平・綿引誠・西野吉彦・作野友康：スギ心持ち正角柱材の高温乾燥における内部割れと収縮ひずみとの関係, 木材学会誌, 51(4), 243-248, (2005)

- (12) 大平智恵子・川上敬介・北村直也・森田浩也・大北誠：県産スギ材への高温乾燥法適応に関する技術開発, 鳥取県林業試験場業務報告, 31-32, (2006)

資料1. 高温セット後の含水率と水分傾斜及び乾燥後の含水率と水分傾斜 (カラマツ)



資料 2. 高温セット後の含水率と水分傾斜及び乾燥後の含水率と水分傾斜（アカマツ）



資料3. 長さ方向の内部割れ分布 (アカマツ)

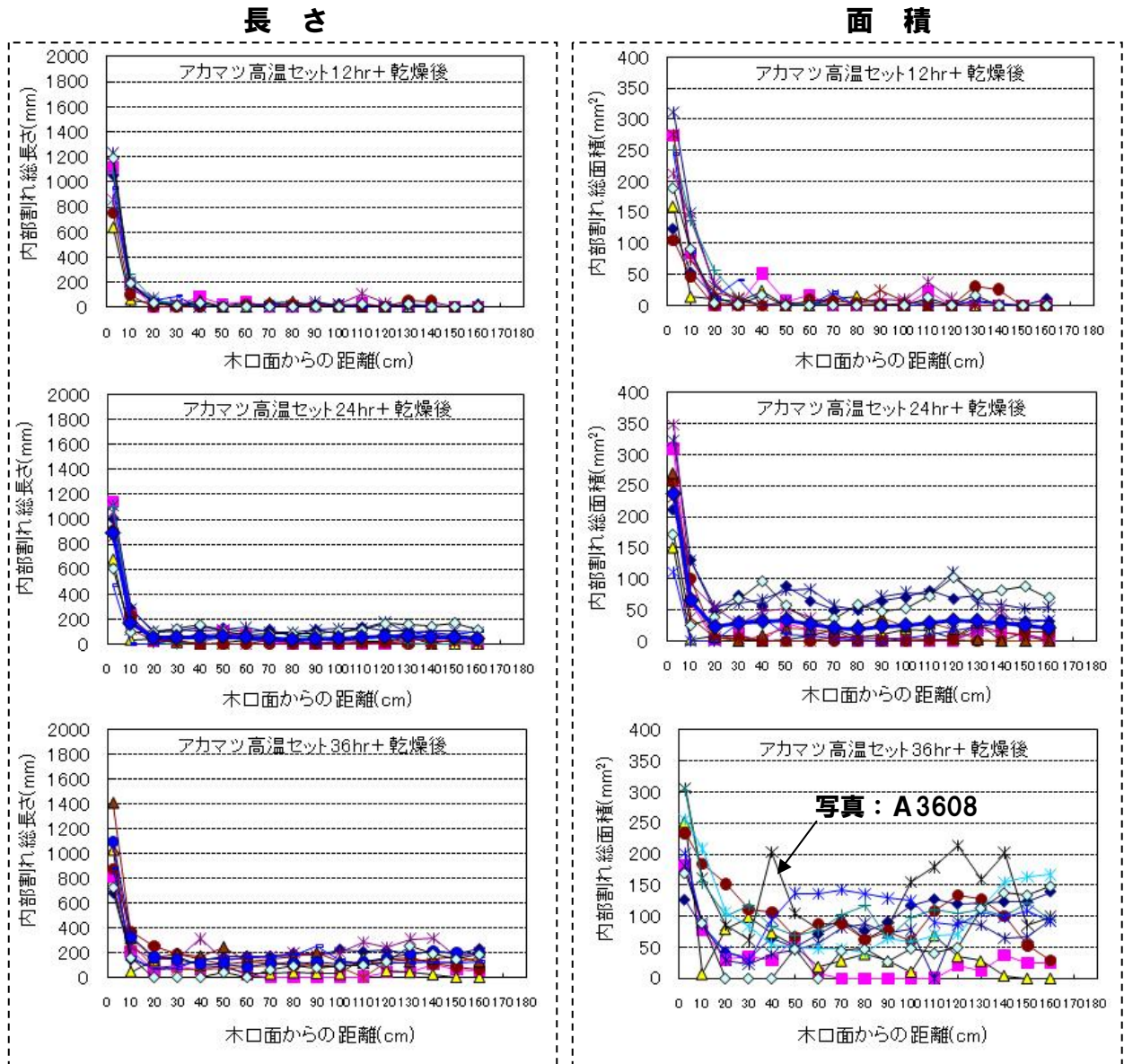
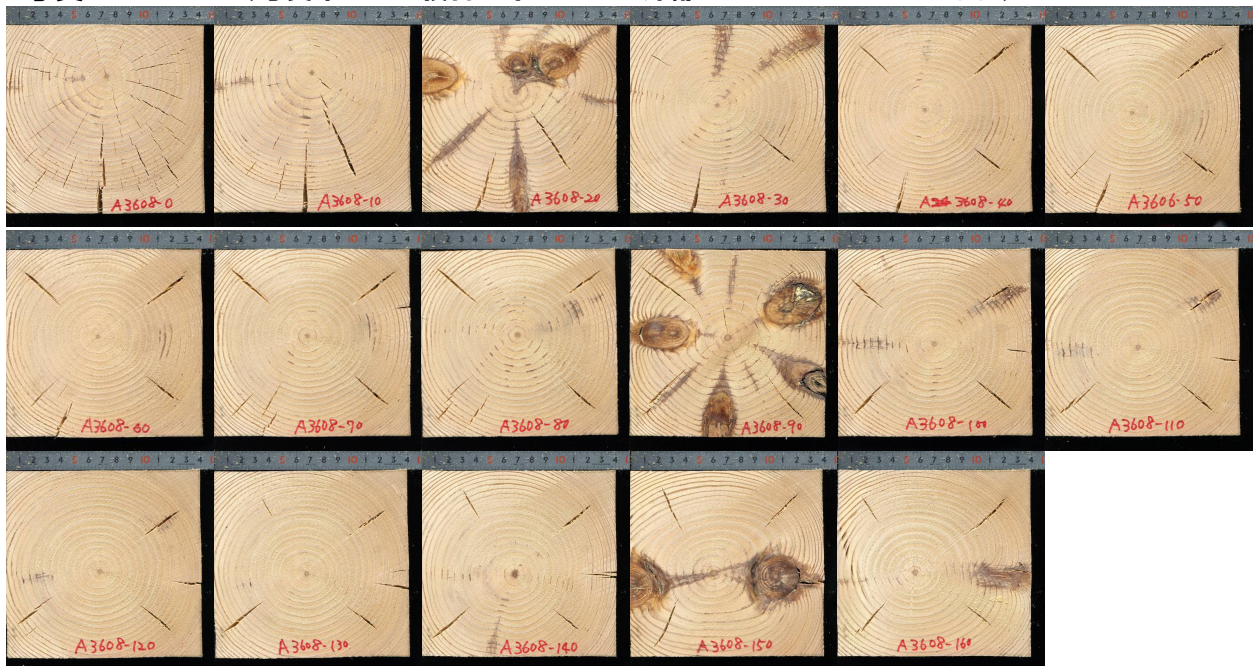


写真: A3608 (写真中 NO の枝番は木口からの距離: -0は木口から2.5cmの位置)



資料4. 長さ方向の内部割れ分布 (カラマツ)

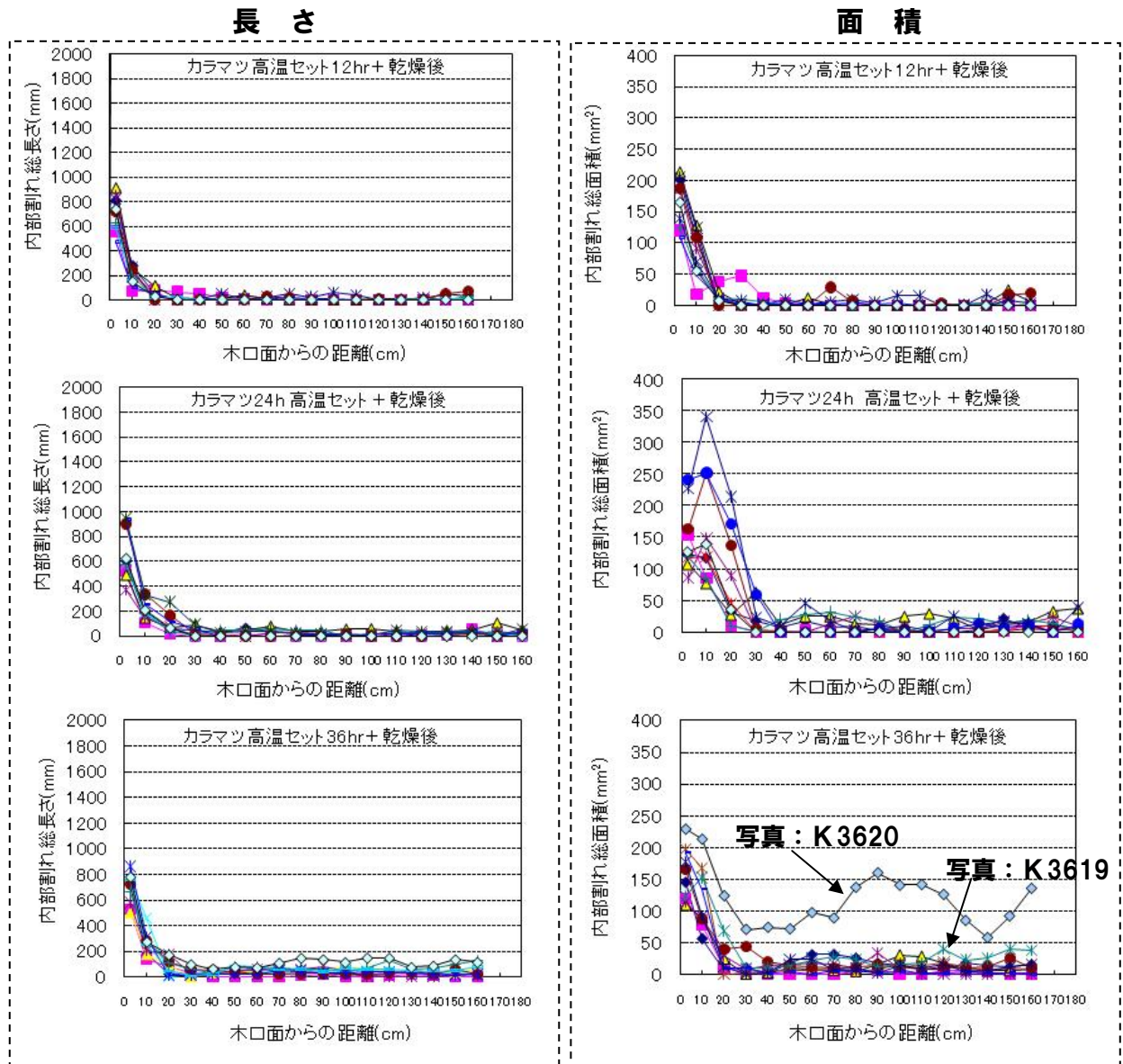
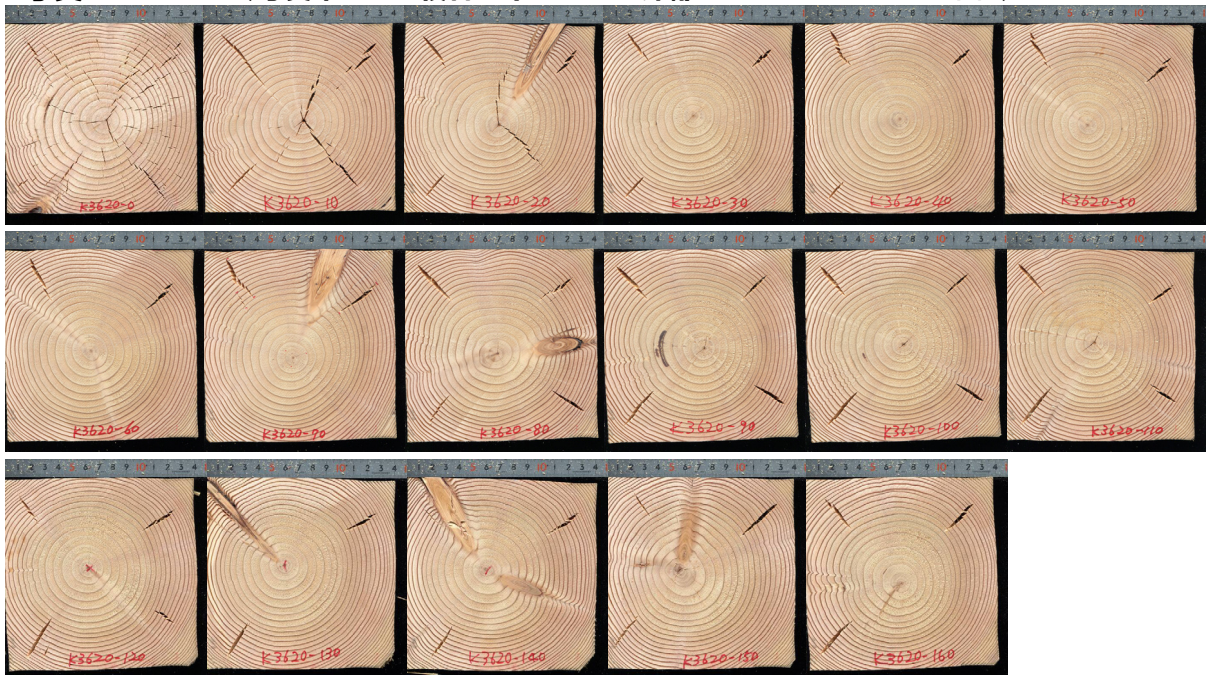
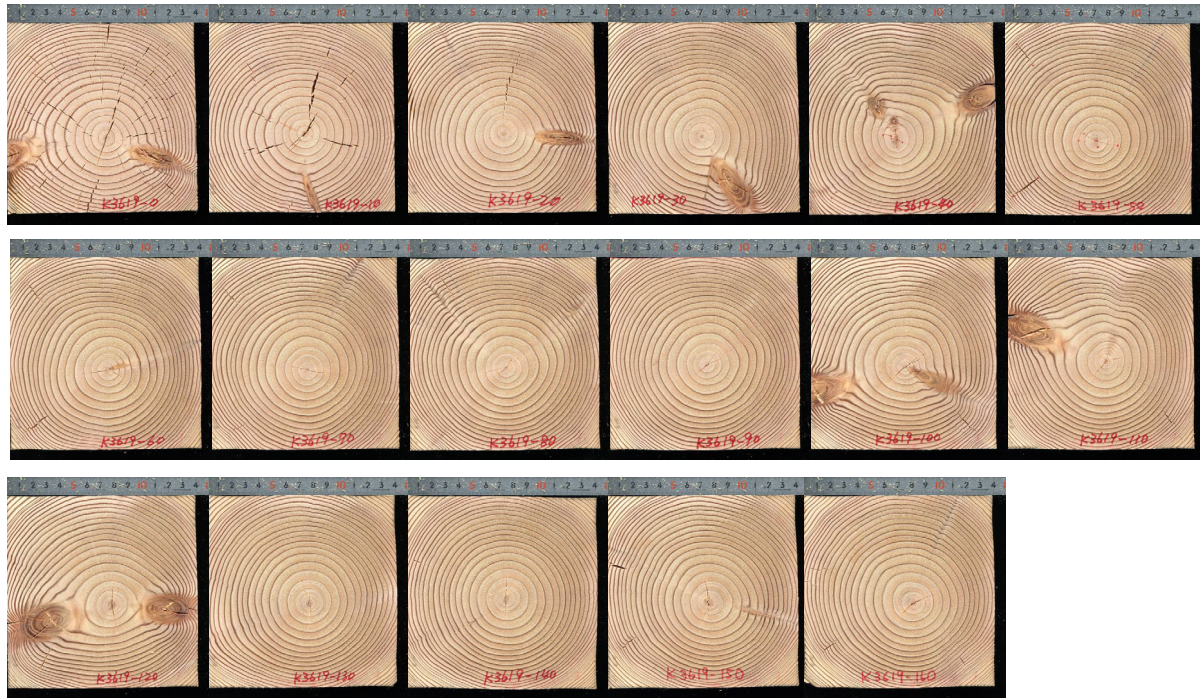


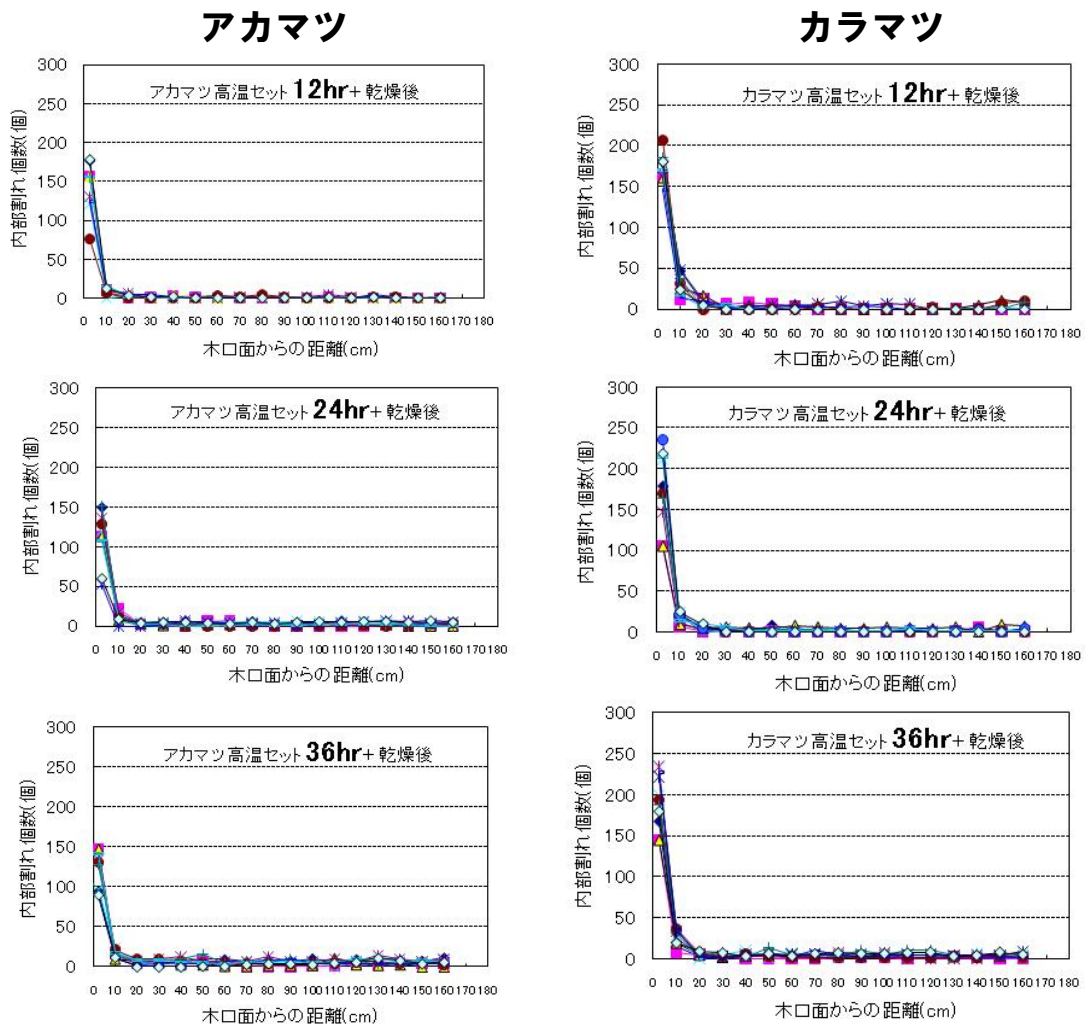
写真: K3620 (写真中 NO の枝番は木口からの距離: -0 は木口から 2.5cm の位置)



写真：K 3619 (写真中 N0 の枝番は木口からの距離：-0 は木口から 2.5cm の位置)



資料5. 内部割れの個数



資料6. 長さ方向の内部割れ

写真：アカマツの内部割れ状態（高温セット 12h+天乾）

木口より 2.5cm 位置での様子



木口より 10cm 位置での様子



木口より 20cm 位置での様子



木口より 30cm 位置での様子



木口より 40cm 位置での様子



**写真：カラマツの内部割れ状態（高温セット 12h+天乾）**

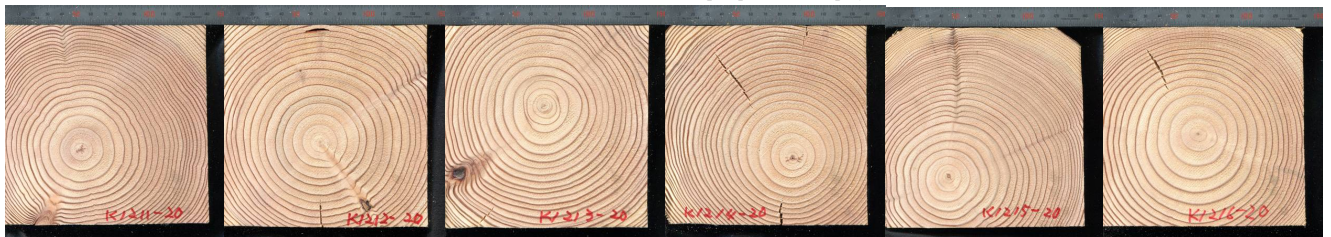
**木口より 2.5cm 位置での様子**



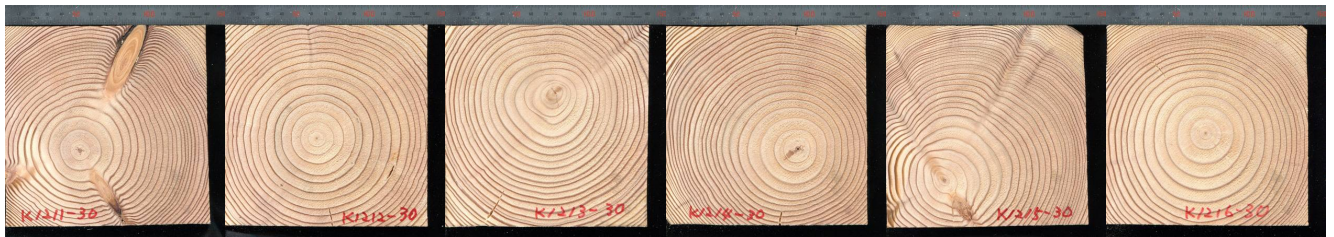
**木口より 10cm 位置での様子**



**木口より 20cm 位置での様子**



**木口より 30cm 位置での様子**



**木口より 40cm 位置での様子**

