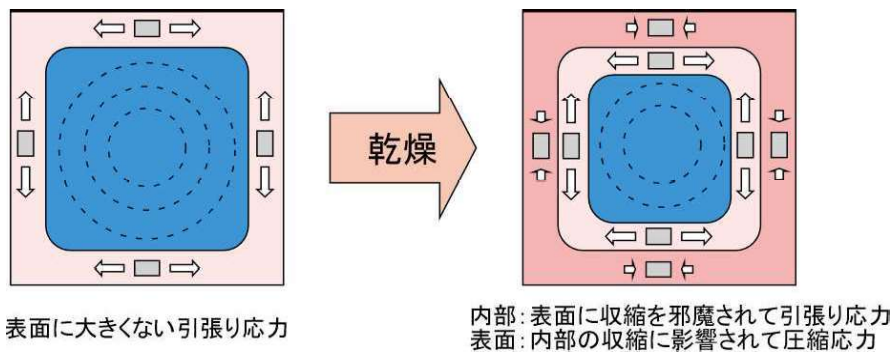
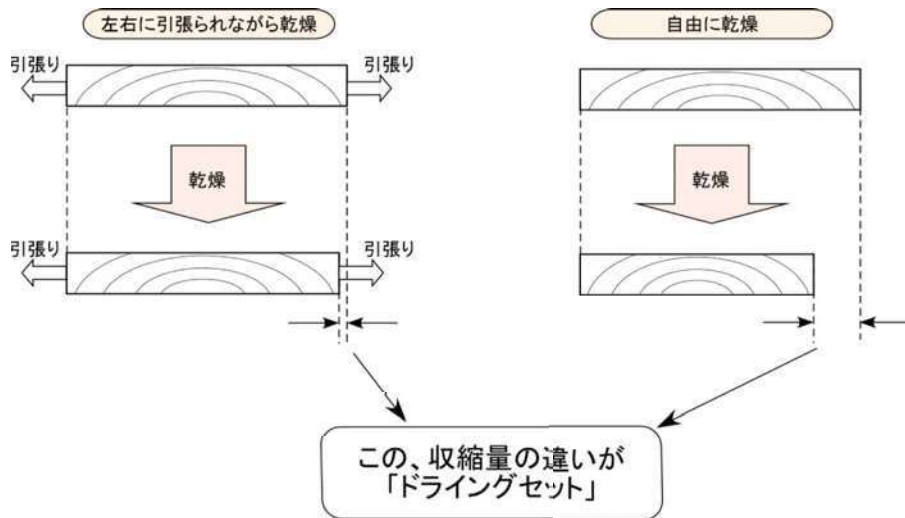


Q.01 なぜ材面割れを抑えられるの？

A.01 心持ち材の表面を軟らかくして水分を取り除くため、乾燥しても収縮が小さく、表面が割れにくくなります。



- ①心持ち材の表面が高温で柔らかくなります。
- ②表面が乾いて収縮しますが、まだ乾いていない内部の細胞に邪魔されて接線方向に引張られながら乾燥します。(上図左と同じ)
- ③表面は乾燥してもあまり縮まないで、引張り応力が小さく、割れません。
- ④その後、内部が乾燥すると、内部の細胞も縮もうとするので、あまり縮まなかった表面の細胞と一緒に縮もうとします。
- ⑤表面の細胞はすでに乾いており、簡単には縮みません。このため、内部の細胞の収縮にもなって、接線方向に圧縮されることになり、より割れにくくなります(応力の逆転と呼ばれます)。

Q.02 内部割れが生じてしまうのはどんな時？

A.02 心持ち材の内部に強い引張り応力 (縮む力・割れようとする力)が発生するときに 内部割れが発生します。

心持ち材の表面が速く乾燥して、内部の乾燥が遅れると、上段図のように表面ばかりが大きく収縮しようとしています。

その結果、表面の細胞は内部のまだ縮んでいない細胞に収縮を邪魔されるので、接線に沿った方向に引張られた状態になります。

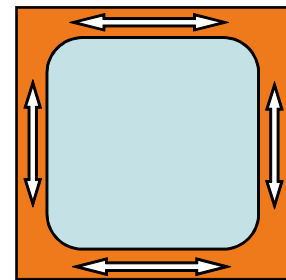
引張られた状態で乾燥するので、ドラインゲットが形成されて、表面は長い寸法を保ったまま、非常に低い含水率まで乾燥してしまいます。

その後、内部が乾燥を始めると、内部の細胞は、本来より長い寸法を保っている表面の細胞に収縮を邪魔されます。このため、内部の細胞も接線方向に引張られ、結果として材内部に引張り応力が生じ、これが内部割れを生じさせる力になります。(中、下段図)

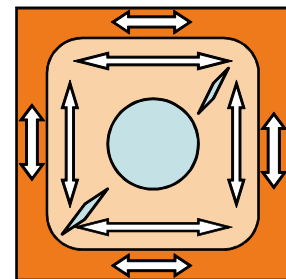
この引張り応力が強すぎると、内部割れを生じます。

乾燥初期に表面で生じるドラインゲットが大きすぎると、つまり、表面があまりに長い寸法のまま乾燥してしまうと、内部の細胞の収縮が大きく邪魔されるため内部に生じる引張り応力は大きくなり、内部割れも大きくなります。

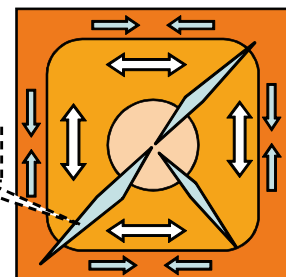
このような理由から、高温セット処理は処理時間が長すぎると内部割れが大きくなります。一方、処理時間が短すぎると、表面のセットが不十分となって材面割れの原因となりますので、処理時間を適切に設定することが重要です。



表面付近のみの乾燥



内部の収縮開始



縮みの少ない表面が
内部の収縮を邪魔

Q.03

高温セット処理時の乾球温度は
120℃でなければならないの？

A.03

樹種や乾燥方法によっては
乾球温度が120℃以外でも有効です。

高温セット処理を用いて表面を割らずに乾燥するためには、材温を上げて材の表層を軟らかくしておくことが重要です。そのため、乾燥中に割れずに軟らかくなる適切なセット条件（温度範囲、乾燥速度（湿度）、処理時間）を採用する必要がありますが、それは、樹種や含水率などによって異なると考えられます。

これまでの多くの試験結果から、スギ心持ち無背割り正角を高温セット処理する場合、適切な乾湿球温度条件として、乾球温度120℃、湿球温度90℃が採用されています。

しかし、今回の試験結果によると、アカマツやヒバなどにおいては、乾球温度110℃、湿球温度90℃の方が有効な事例もあります（P20、P24参照）。

参考までに、高温セット処理後に発生した材面割れおよび内部割れについて、表に示します。

表 高温セット処理後に発生した材面割れおよび内部割れ（4m材、平均値）

樹種	高温セット処理条件				材面割れ長さ (mm)	内部割れ長さ (mm)	高温セット処理後 の含水率 (%)
	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	圧力(kPa)	処理時間(h)			
スギ	115	-	71	18	1,039	37.4	45.1
	115	-	71	24	903	48.2	29.2
	110	-	58	18	1,988	49.9	39.5
ヒノキ	100	-	71	22	1,095	3.4	23.2
	110	-	71	17	92	44.8	20.9
	100	-	71	24	186	10.2	22.5
アカマツ	110	90	-	12	5,285	0	25.3
	110	90	-	24	4,965	29.3	20.8
	120	90	-	12	8,998	7.2	23.1
	120	90	-	24	9,186	48.0	17.7
	130	90	-	12	7,592	70.9	17.5
	135	95	-	12	4,575	161.9	19.4
ヒバ	110	90	-	12	1,345	36.1	24.8
	110	90	-	24	1,201	86.1	23.3
	120	90	-	12	1,254	119.8	25.9
	120	90	-	24	1,155	183.6	20.3

注：材面割れ長さは1本あたりの総延長を示す。

内部割れ長さは試験材中央部に現れた内部割れ長さの総延長を示す。

圧力(kPa)は、熱風減圧乾燥における乾燥機内の圧力を示す。

Q.04 内部割れは含水率何%になると発生するの？

A.04 正角の場合、含水率30%前後から内部割れの危険が生じます。

高温セット処理を行った正角は、そのまま高温乾燥（100℃以上の乾燥）を続けると内部割れの発生の危険が大きくなります。

図はスギ心持ち無背割り正角を高温セット処理を用いて乾燥した時の内部割れ発生状況です。

高温セット+高温乾燥では、多くの内部割れが発生し、内部割れの発生が確認される時の含水率はおよそ30%前後であることがわかります。（まれにこれ以上の含水率でも発生する例もあります。）

また、内部割れは、含水率10%を切るあたりから急激に増加しているのも注目すべき点です。

これに対して高温セット+中温乾燥や高温セット+高周波減圧乾燥では、低含水率域であっても内部割れの発生が非常に少なくなっているのがわかります。これは、高温セット処理後の乾燥をいずれの乾燥でも100℃以下としていることが影響していると考えられます。



写真 スギ材に発生した様々な内部割れ

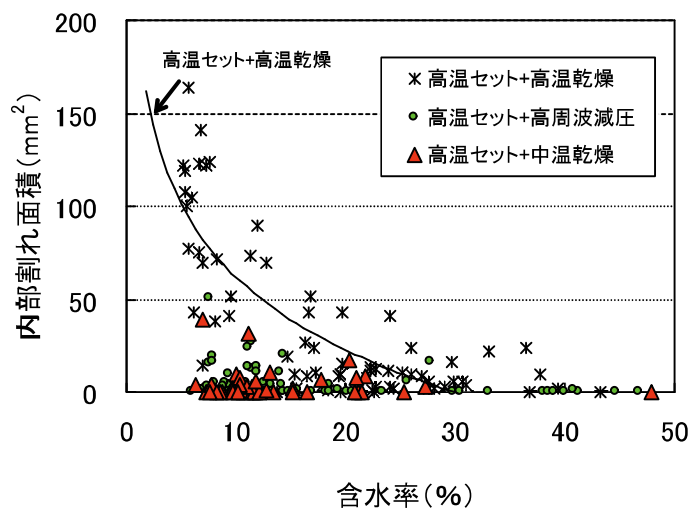


図 仕上がり含水率と内部割れとの関係（スギ）⁶⁻¹⁾

Q.05

材面割れや内部割れの発生量は樹種によって違うの？

A.05

アカマツは材面割れが発生しやすく、カラマツは内部割れが少ない樹種です。

材面割れや内部割れの発生の多少は、木材の接線方向の横引張り強さに影響します。つまり、横引張り強さの弱い木材が割れやすく、強い材が割れにくい木材ということになります。

木材は乾燥する時に応力が発生します。この応力は引張り応力と圧縮応力がありますが、割れに関与するのは引張り応力です。この引張り応力が横引張り強さの限度を超えると割れが発生することになります。

引張り応力は、乾燥初期には表面部に、乾燥中期から末期には内部に働くため、乾燥初期に材面割れが、乾燥中期から末期にかけて内部割れが発生しやすくなります。

割れようとする力に耐える横引張り強さは、樹種によって異なるため、割れの発生量も樹種によって異なります。アカマツは材面割れが発生しやすく、カラマツは内部割れが少ない樹種です（図1、図2）。

もちろん、割れの発生しやすい樹種は、極力割れが発生しないように乾燥条件をコントロールします。

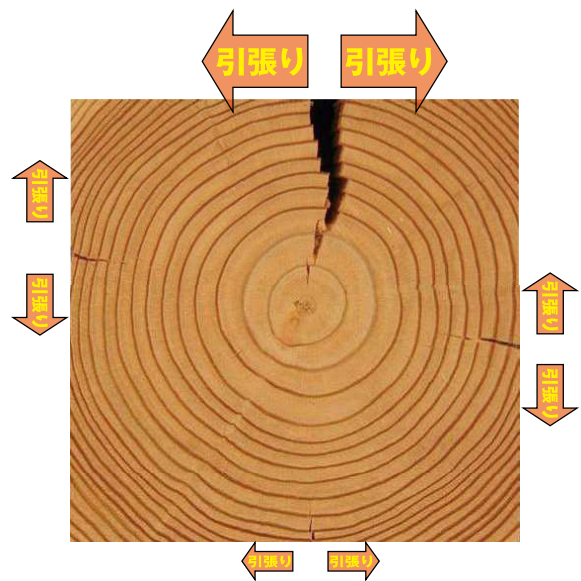


写真 心持ち材に働く引張り応力（イメージ）

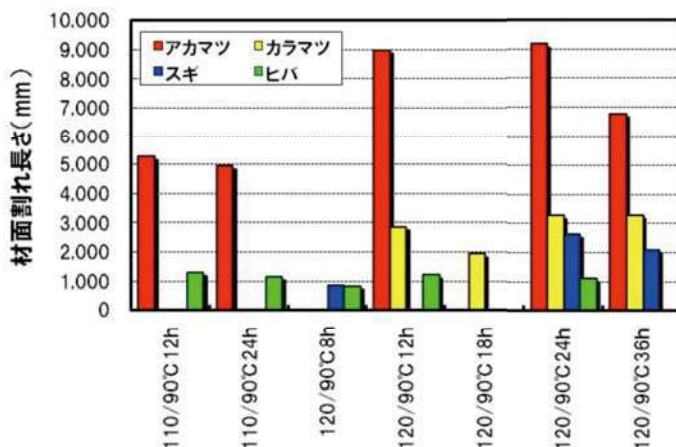


図1 高温セット条件別の材面割れ長さ

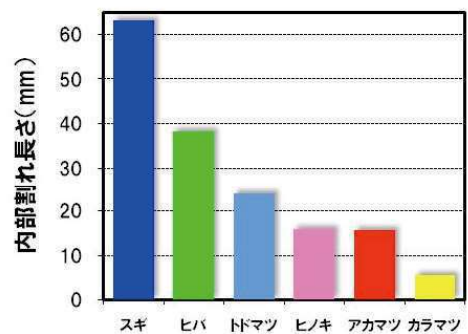


図2 樹種別の内部割れ長さ（平均値）
（本マニュアル書での推奨スケジュール）

Q.06

適切に乾燥しても木口付近には割れが多く発生します。
この割れを防ぐ方法は無いの？

A.06

**木口からの乾燥の抑制、
あるいは乾燥による木口付近の変形の抑制が
効果的です。**

木材の組織構造上、木口は板目、まさ目に比べ最も乾燥しやすい材面です。そのため乾燥初期に発生する割れの多くは木口割れになります。木口割れを少なくするためには、木口からの乾燥を抑えること、木口付近の乾燥による変形を物理的に抑制することがポイントになります。

木口割れ抑制効果が期待できる方法として以下のことが挙げられます。

- ①製品の両端を丸鋸等で平滑にカットし材長を揃えます。
- ②棧積みを台車に載せるとき、木口に強い風が当たらないように製品の間隔、製品と乾燥室内の奥およびドア側との隙間を狭く置きましょう。大きな空間には、しゃ風板の利用が効果的です。
- ③棧積み時、両木口には少し幅の広い棧木を材端に揃えて丁寧に置きましょう。材長が揃っていることで、棧木による木口割れ抑制効果の増加が期待されます。また、棧木の厚みむらは、製品を押える力にばらつきを生じさせ、木口割れ抑制効果が低減します。棧木の厚み管理は大切です。
- ④木口付近の変形抑制には、棧積みにおもしを載せることが効果的です。おもしは、乾燥中に棧木が製材にめり込まない程度のものを使うことが肝要です。

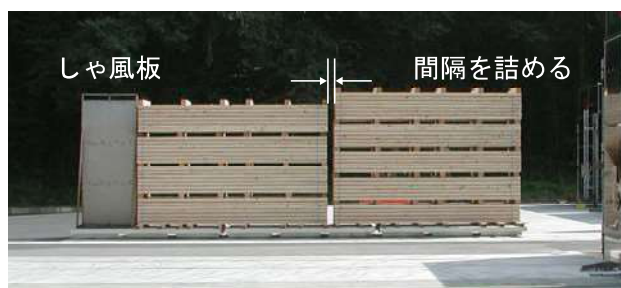


写真1 台車への棧積み状況

入炉時、材と乾燥室内の奥、ドア側との隙間を狭くしましょう

材端の棧木位置に配慮を！



写真2 棧積みした材端部の様子



写真3 木口部分をカバーした天然乾燥材

また、木口からの乾燥を抑える方法として、木口に塗料等を塗る、木口をシートで覆うのも効果があります。この方法は天然乾燥で行われることがあります。

Q.07 材色変化を防ぐ方法はあるの？

A.07 乾球温度を低くすると材色変化が小さくなります。

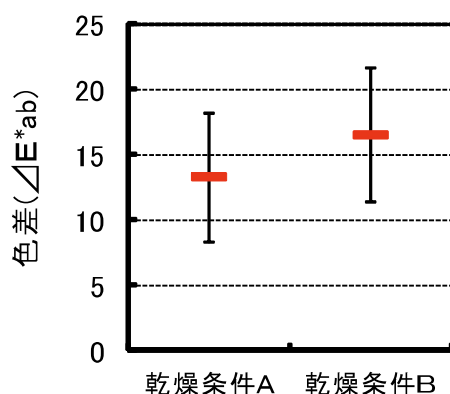
高温で長時間の乾燥を行うと、酸化などの化学反応により、材色変化が大きくなります。高温セット処理後の乾燥温度を低くすれば、材色変化を小さくすることができますが、仕上がりまでの期間が長くなります。

したがって、製品に求められる品質に応じて材色と仕上がりまでの期間を考慮し、乾燥スケジュールを選択することが必要です。

表 乾燥条件

乾燥条件	蒸煮 DBT/WBT	高温セット処理 DBT/WBT	乾燥 DBT/WBT	乾燥時間 合計	100℃以上で乾燥した時間	乾燥後 含水率(%)
A	8h	18h 120℃/90℃	120h 90℃/60℃	146h	18h	14
B	95℃/95℃	36h 120℃/90℃	72h 110℃/80℃	116h	108h	7

注)h:時間、DBT:乾球温度、WBT:湿球温度



左の図は、ヒノキ心持ち無背割り正角を条件の異なる二つの方法（乾燥条件A、乾燥条件B）で人工乾燥した時の材色の違いを調べたものです。同一のヒノキ心持ち無背割り正角から人工乾燥する試験材と天然乾燥する試験材を採取して、それぞれ乾燥後に材色（ $L^*a^*b^*$ 表色系）を測定し、それらの値から色の違い、すなわち色差（ ΔE^*ab ）を求めています。（詳細は下記式）

結果、乾燥条件Bの方が乾燥条件Aよりも材色の違いが大きくなりました。これは、乾燥条件Bの乾燥時間合計が乾燥条件Aよりも30時間短いにも関わらず100℃以上の高温で乾燥を行っている時間が長いためと考えられます。

図 天然乾燥後の材色を基準とした乾燥条件と色差の関係

○色差算出式は以下のとおりです。

$$\text{色差算出式 } \Delta E^*ab = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

ΔE^*ab : 色差(ここでは、人工乾燥後と天然乾燥後の材色の違いを示します。)

L^* : 明度指数 (指数100が白、0が黒を表します)

a^* 、 b^* : クロマティックネス指数

(a^* は赤をプラス、緑をマイナスで表し、 b^* は黄をプラス、青をマイナスで表します)

ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* : 人工乾燥後の L^* 、 a^* 、 b^* 計測値と天然乾燥後の L^* 、 a^* 、 b^* 計測値の差

Q.08

高温セット処理後、天然乾燥した場合、
どれくらいの乾燥期間が必要なの？

A.08

樹種、季節、実施場所によってさまざまで、
一般に長い期間を要します。

正角などを乾燥するにあたり、材面割れを防ぐために高温セット処理を行ってから天然乾燥で所定の含水率に調節する方法も広く採用されています。この方法の長所としては、エネルギーコストを削減できること、材色変化を小さくできることなどが挙げられます。

必要とされる天然乾燥期間は樹種、季節、実施場所によって様々で、いくつかの実験結果を下の表に示します。

表 高温セット処理後の天然乾燥期間の例

樹種 (柱材)	寸法 (mm)	高温セット処理条件		天然乾燥条件			含水率[平均]			備考
		乾湿球 温度	高温セット 処理時間	高温セット処理後の 天然乾燥期間	天然乾燥 実施場所	天然乾燥 開始時期	乾燥前	高温セット処理後 (天然乾燥開始時)	乾燥後	
スギ	135× 135× 3,000	D.B.T.120℃ W.B.T. 90℃	24時間	140日 (約4.7ヶ月)	富山県 (屋内)	夏季 (2009年6月)	71.2%	39.2%	14.6%	
	135× 135× 3,000	D.B.T.120℃ W.B.T. 90℃	24時間	190日 (約6.3ヶ月)	富山県 (屋内)	冬季 (2009年12月)	72.8%	28.9%	18.0%	
	135× 135× 1,800	D.B.T.120℃ W.B.T. 90℃	24時間	230日 (約7.7ヶ月)	奈良県 (屋外)	冬季 (2010年1月)	77.2%	41.9%	15.4%	
	135× 135× 1,800	D.B.T.115℃ 圧力71kPa	18時間	200日 (約6.7ヶ月)	愛媛県 (屋内)	冬季 (2010年2月)	92.6%	45.7%	13.7%	
ヒノキ	135× 135× 1,800	D.B.T.120℃ W.B.T. 90℃	18時間	180日 (約6ヶ月)	三重県 (屋外)	冬季 (2009年12月)	34.3%	19.6%	16.2%	
	135× 135× 1,800	D.B.T.110℃ 圧力71kPa	17時間	200日 (約6.7ヶ月)	愛媛県 (屋内)	冬季 (2010年1月)	38.3%	22.4%	14.3%	
カラ マツ	145× 145× 1,800	D.B.T.120℃ W.B.T. 90℃	18時間	350日 (約11.7ヶ月)	長野県 (屋外)	秋季 (2010年8月)	40.3%	23.6%	15.9%	
アカ マツ	145× 145× 1,800	D.B.T.120℃ W.B.T. 90℃	12時間	230日 (約7.7ヶ月)	長野県 (屋外)	冬季 (2010年1月)	67.4%	23.1%	14.6%	
トド マツ	118× 118× 1,800	D.B.T.120℃ W.B.T. 98℃ D.B.T.105℃ W.B.T. 85℃	4時間 + 24時間	190日 (約6.3ヶ月)	北海道 (屋外)	秋季 (2010年9月)	41.0%	21.2%	13.3%	冬季は、製材 工場内で天然 乾燥した
ヒバ	145× 145× 1,800	D.B.T.110℃ W.B.T. 90℃	12時間	310日 (約10.3ヶ月)	長野県 (屋外)	秋季 (2010年9月)	36.7%	25.9%	17.1%	
	145× 145× 1,800	D.B.T.110℃ W.B.T. 90℃	12時間	461日 (約15.4ヶ月)	石川県 屋内	秋季 (2010年9月)	35.2%	23.6%	16.6%	

注: D.B.T.とは、乾球温度を示す。
W.B.T.とは、湿球温度を示す。
圧力(kPa)とは、熱風減圧乾燥における乾燥機内の減圧度を示す。

Q.09

葉枯らし材や屋外で長く放置した未乾燥材に高温セット処理を用いた乾燥法を適用すると材面割れがたくさん発生するのはなぜ？

A.09

表面の含水率が低くなっているためです。

屋外に放置された未乾燥材は、表面部の含水率傾斜が大きくなった状態で乾燥工程に入ります。したがって、放置された未乾燥材を乾燥機内に栈積みして乾燥を開始する際、乾燥機内の湿度が低いまま温度を上昇させると、表面の乾燥がさらに進み、含水率傾斜も大きくなり、非常に割れやすい状態になります。したがって、高温セット処理を行う場合に限らず、葉枯らし材や屋外に長く放置した未乾燥材を乾燥機で乾燥する際には、乾燥初期の昇温時、乾湿球温度差がないように、つまり、生蒸気のみで昇温することが必要です。

なお、広葉樹板材の乾燥においても、天然乾燥（予備乾燥）後に乾燥機で乾燥する際には、同様の理由から乾燥初期条件を通常より緩やかな条件とします。