

カラマツ大径材による建築用材生産技術の開発（第1報） －人工乾燥技術の差異による平角材の品質－

伊藤洋一

Development of the lumber-producing technology for large-diameter Japanese larch (I) — Quality of flat squares evaluated by the difference of kiln drying methods —

Youichi ITO

Flat squares of Japanese larch (*Larix leptolepis* Gordon) wood without pith, 120 (T) × 295 (W) × 4,000 (L) mm, were dried in a kiln using high-temperature steam drying or hybrid drying with high frequency. The quality of the squares was investigated based on moisture content (MC) and the checked area of each specimen. The following results were obtained:

- 1) Drying time was shortened by hybrid drying with high frequency in comparison with steam-drying.
- 2) Surface checked area: With both drying methods, there was no problem in practical use.
- 3) Honeycomb area: Internal checks were not caused in any specimen.
- 4) It is necessary to improve and stabilize the quality precision of the final MC by accumulating data on hybrid drying.

In view of these results, it is important to choose conditions considering the drying cost while maintaining the quality of kiln-dried lumber in hybrid drying.

Key words: high-temperature drying, hybrid drying, high frequency, moisture distribution, checks
高温乾燥, 複合乾燥, 高周波, 水分傾斜, 割れ

カラマツ心去り平角材(厚さ120×幅295×長さ4000mm)を用いて、蒸気式人工乾燥(高温乾燥)および蒸気高周波複合乾燥の二種類の乾燥試験を行った。平角材の品質について、含水率と割れにより検討した。得られた知見は、以下のとおりである。

- 1) 蒸気式人工乾燥に比べ、蒸気高周波複合乾燥では、乾燥時間が短縮された。
- 2) 表面割れについては、両方の乾燥方法とも、実用上問題のない小さな値であった。
- 3) 内部割れについては、全ての試験材で認められなかった。
- 4) 蒸気高周波複合乾燥では、データを蓄積することにより、仕上がり含水率の精度を向上させる必要がある。

以上のことから、蒸気高周波複合乾燥では、乾燥材の品質や乾燥コストに配慮した条件設定を行っていくことが重要と考える。

1. はじめに

北海道内におけるカラマツ人工林面積の約7割は40年生以上の林齢に達しており、今後は大径材の生産量増大が予想される¹⁾。このため、大径材から柱や梁などの建築用材を地域の製材工場で生産し、地域で住宅等に活用する「地材地消」の推進が期待されている²⁾。しかし、カラマツ製材工場では小・中径材から梱包材、パレット等を生産しているところが多く、中・大径材から建築用材を生産している

工場はまだ少ない。カラマツ大径材の利用拡大を図るためには、品質や性能の確かな建築用材を安定供給できる生産技術について早急に検討する必要がある。

安定供給するためのポイントは、乾燥後の製品間の品質むら、特に含水率むらを小さくすることや表面と内部の含水率差(水分傾斜)を最小限に抑えることである³⁻⁵⁾。この製品間の含水率むらや水分傾斜を抑制する方法として蒸気高周波複合乾燥方法が

ある。道外ではスギ構造材の乾燥に蒸気高周波複合乾燥装置を導入している工場もあり、その乾燥条件は確立しつつある。

スギ構造材に対する蒸気高周波複合乾燥の特徴としては、次のような点があげられる⁵⁻⁸⁾。

- ①従来の蒸気式人工乾燥に比べて、短時間で乾燥ができる
- ②蒸気による外部加熱と高周波による内部加熱の組み合わせにより、含水率むらの少ない乾燥材が生産できる
- ③高周波印加の条件によっては乾燥コストが増大することがある

しかし、カラマツ構造材については、蒸気高周波複合に関する知見がないことから、本報ではカラマツ大径材から製材した乾燥材の品質について、二つの乾燥方法

- ①蒸気式人工乾燥方法
- ②高周波蒸気複合乾燥方法

の比較検討結果について報告する。

2. 試験方法

2.1 製材条件

製材した原木は径級 46～54cm のカラマツ原木 9 本である。同一の原木から採材した平角材（厚 120×幅 295×長 4000mm）2 枚のうち、一方は①蒸気式人工乾燥方法、他方は②高周波蒸気複合乾燥方法で乾燥するよう振り分けた（第 1 図）。製材木取りはすべて心去りである。

平角材を木取る際に、樹心からの距離を一定程度とすることで、大径材に生じることが多い心割れや樹



平角材に製材後、
①蒸気式乾燥方法を適用
Kiln drying by ①
steam-drying after
sawmilling for flat
square.

平角材に製材後、②蒸気高周波複合乾燥方法を適用
Kiln drying by ② hybrid drying with high frequency
after sawmilling for flat square.

第 1 図 平角材の木取り

Fig. 1. Cutting for flat squares.

心付近のヤニ溜まりを避けることができ、表面割れを抑制できる⁹⁾ことから、樹心からの距離を 2cm 以上とる製材方法を採用した。

2.2 乾燥条件

乾燥試験は、第 2 図のように平角材を栈積み（3 列×6 段＝18 本）し、行った。使用した人工乾燥装置は、高周波加熱装置 RH-15S（山本ビニター（株）製、発振周波数 13.56MHz、高周波出力 15kW）が併設されている蒸気式人工乾燥装置 SKD-20LPT（（株）新柴設備製、標準収容材積 5.6m³）である。栈積み時には、次の点に留意した。

- ①循環ファンが上部にある乾燥装置は栈積み下部の乾燥が早くなるので、採材後の重量が重い平角材をできるだけ下部に配置する。
- ②栈木厚さを 30mm、材間を 60mm に設定し、重錘直下に台木を置き、重錘下の風速が落ちないように配慮することや、栈積み側面から乾燥室壁面までの距離を十分に取ることにより、乾燥装置内の温湿度むらを抑制する。
- ③蒸気高周波複合乾燥では、高周波印加する領域間、および印加しない部分を確実に絶縁しなければならないので、木製パレットを栈積み間の適切な位置に挿入する。

今回の試験で採用した乾燥スケジュール（第 1 表）は、既報³⁻⁷⁾や予備試験の結果を参考にした。高周波蒸気複合乾燥の段階 4 の設定時間中は、過度の材温上昇を避けるため、

栈積み下段を高周波印加（10 分）

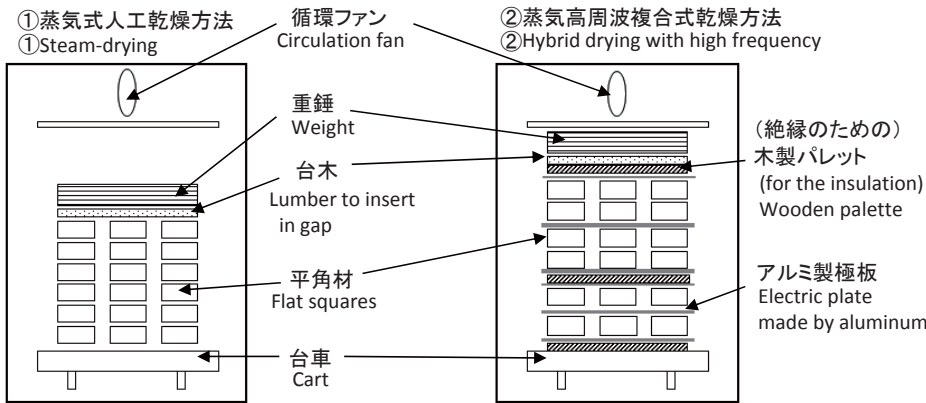
→栈積み上段を高周波印加（10 分）

→休止（20 分）

を一つのサイクルとし、これを繰り返すことにより、計 48 時間かけて乾燥を行った。この間は材温を概ね 95～100℃に制御するよう、事前に試験材重量や寸法、目標仕上がり含水率等を考慮して、印加のための高周波出力を連続的にコントロールした。

仕上がり含水率の判断は、乾燥室内にサンプル材を置き、第 1 表の段階 5 において、その重量を測定することにより行った。

また、乾燥材が住宅用構造材に使用されることから、既報⁹⁻¹¹⁾での乾燥後の品質データおよび乾燥コ



第2図 平角材の棧積方法
Fig. 2. The package piling of the flat squares.

スト試算により、乾燥材の狂いを少なくし、従来より養生期間を短縮するために、目標仕上がり含水率を15%に設定した。

2.3 含水率および割れの測定

乾燥後のすべての平角材についての含水率および

水分傾斜を全乾法にて測定した。このための試験体は1本あたり1か所、材端から約300mmの部分より切り出した。水分傾斜の測定方法は、既報^{15,16)}と同様に表層から1層(表層部)、2層、3層、4層(中心部)に4分割することによって行った。

また、割れについては、既報¹⁴⁾と同様に、表面割れと内部割れの測定を行った。割

れは、長さ50mm未満のものを除き、割れ長さをmm単位で、最大幅を0.1mm単位で測定した。なお、集計の際に用いた割れ面積は、1本の割れについて「長さ×最大幅/2」で欠損面積を求め、試験材1本当たりの合計面積を算出した。

第1表 カラマツ平角材の乾燥スケジュール
Table 1. Kiln drying schedules for flat squares of Japanese larch.

段階 Step	①蒸気式人工乾燥方法 ①Steam-drying						②蒸気高周波複合乾燥方法 ②Hybrid drying with high frequency					
	工程 Process	乾球 温度 Dry bulb temp. (°C)	湿球 温度 Wet bulb temp. (°C)	設定 時間 Time (h)	循環ファン の回転 周波数 Frequency of circulation fan (Hz)		工程 Process	乾球 温度 Dry bulb temp. (°C)	湿球 温度 Wet bulb temp. (°C)	設定 時間 Time (h)	循環ファン の回転 周波数 Frequency of circulation fan (Hz)	
1	蒸煮 Steaming	95	95	14	58		蒸煮 Steaming	95	95	14	58	
2	昇温 ・乾燥 Rising temp. & Drying	120	90	10	58		昇温 ・乾燥 Rising temp. & Drying	120	90	10	58	
3	乾燥 Drying	110	80	18	58		乾燥 Drying	110	80	18	58	
4	—	—	—	—	—		蒸気高周波 複合乾燥 Hybrid drying with high frequency	90	60	48	58	
5	乾燥 Drying	90	60	194	50		乾燥 Drying	90	60	70	50	
6	冷却 Cooling	—	—	24	—		冷却 Cooling	—	—	24	—	

注1) 平角材寸法：厚120×幅295×長4000mm

注2) 乾燥所要日数：①蒸気式人工乾燥約9.8日、②高周波蒸気複合乾燥約6.7日

注3) 高周波出力15kW、積み込みブロック数2(上段・下段)

注4) 段階4では、「積み込み下段を高周波印加(10分)→積み込み上段を高周波印加(10分)→休止(20分)」を一つのサイクルとし、このサイクルを繰り返した。

Note 1) Size of flat square: (T) 120×(W) 295×(L) 4000 mm

Note 2) Drying time: ① Steam-drying ≈ 9.8 days, ② Hybrid drying with high frequency ≈ 6.7 days

Note 3) The high frequency output was 15kW. The number of the piling blocks was 2 (upper & lower).

Note 4) In step 4, "the high frequency was applied to the lower piling for 10 minutes, to the upper piling for 10 minutes, and then stopped for 20 minutes", which comprised one cycle. This cycle was then repeated.

3. 結果と考察

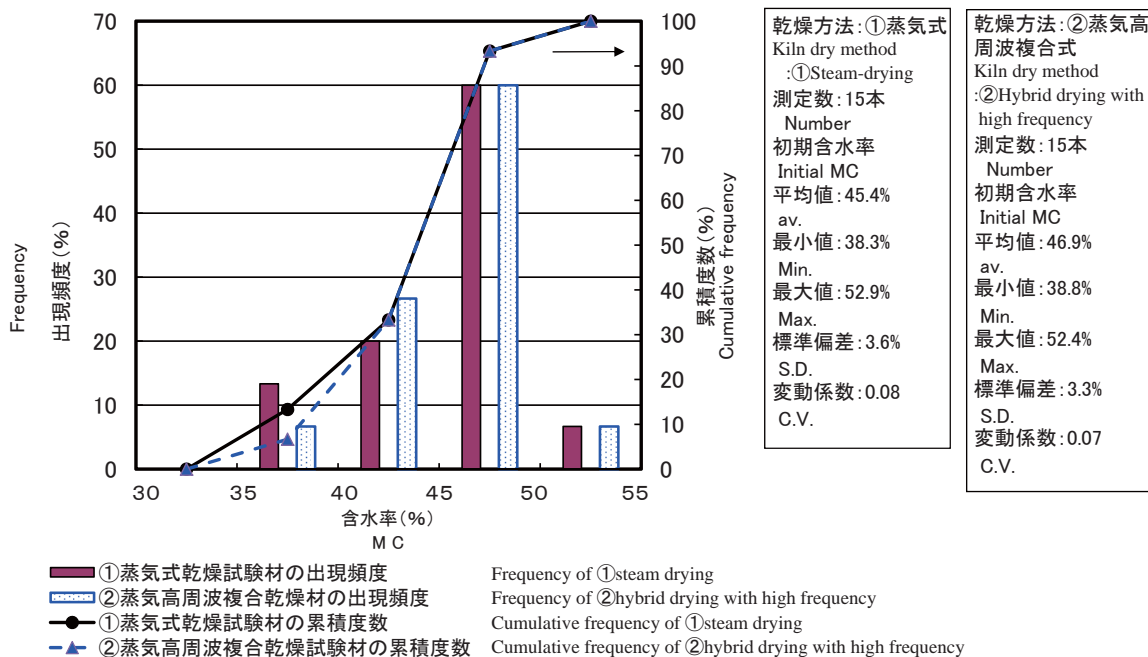
3.1 乾燥前の含水率分布

第3図に乾燥前の平角材の含水率分布を示す。同一の原木から採材した平角材から二つの乾燥方法に振り分けをおこなっているため、初期含水率はほぼ等しかった。

3.2 乾燥後の品質評価

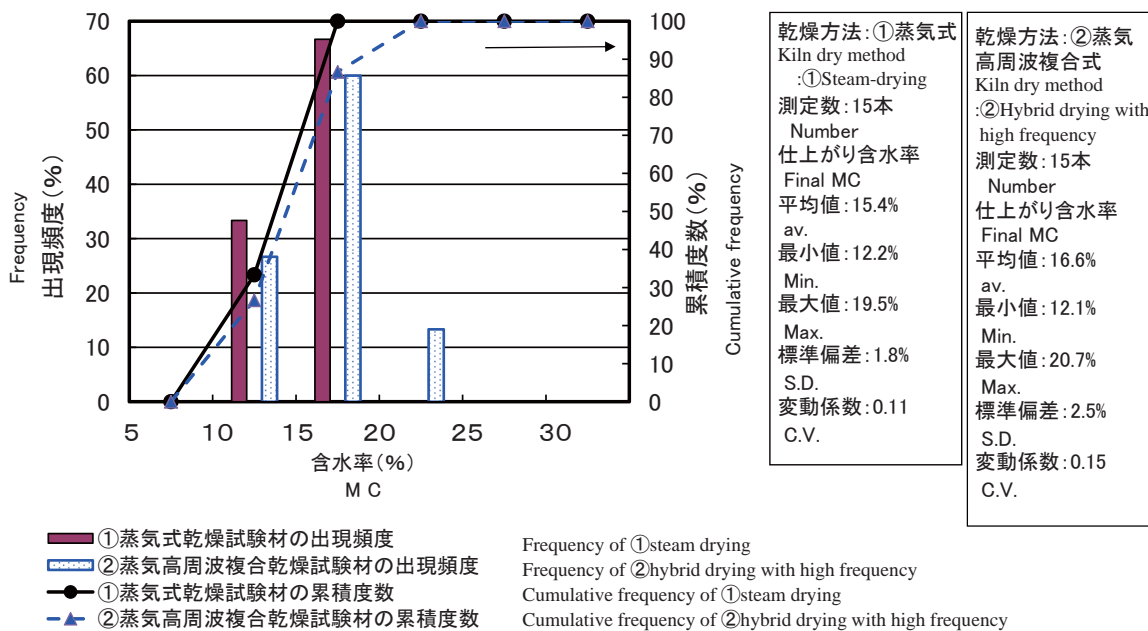
第4図に乾燥後の平角材の含水率分布を示す。①蒸気式ではすべての試験材でJASのD20をクリアした。また、D15をクリアしたのは5本で全体の33.3%であった。

一方、②蒸気高周波複合式では、20%以上の試



第3図 試験材の初期含水率分布

Fig. 3. Distribution of initial moisture content (MC) in specimens.



第4図 試験材の仕上がり含水率分布

Fig. 4. Distribution of final MC in specimens.

験材が2本あり、D20をクリアしたものは全体の86.7%、D15をクリアしたのは4本で26.7%であった。

平均の仕上がり含水率値としては、両方の乾燥方法ともほぼ同等と思われたが、全体の含水率を推定するために測定するサンプル材の含水率と実際の試験材含水率との差が、②蒸気高周波複合式では少し大きく、やや高め仕上がり含水率となった。サンプル材は、基本的に重量測定を行う前提で乾燥室外へ取り出すことを想定しているが、蒸気高周波複合乾燥においては高周波印加されるためには極板間に挟まれて置かれていなければならない、サンプル材への印加が困難とならざるを得ない。また、極板間には金属製のセンサーや釘等を置くことが、印加による局部的加熱を引き起こすため、含水率の遠隔測定を行うことも難しい。これらのことから、蒸気高周波複合乾燥では試験材の仕上がり含水率を推定することが困難と思われた。

第2表に乾燥前後の含水率、表面割れの結果を示す。乾燥所要日数では、ほぼ同様の初期含水率から、蒸気高周波複合乾燥を行うことにより、乾燥日数が短縮され、6.7日で仕上げることができた。

②蒸気高周波複合試験材の表面割れは16.0cm²/本で、①蒸気式に比べれば少し多いが、実用上は問題ないものと思われた¹²⁻¹⁸⁾。

また、内部割れについては、全ての試験材で認められなかった。

3.3 試験材の水分傾斜

第3表に乾燥後の水分傾斜を示す。今回の乾燥試験では、蒸気高周波複合乾燥は従来の蒸気式乾燥に比べて、乾燥後の水分傾斜を大幅に抑制することはできなかった。この原因として、高周波印加を行うためのリード線接続(第5図)が乾燥装置内の風回りを阻害し、棧積み内の風速を落とし、水分傾斜を増大させる原因となっているものと思われた。

対策としては、経験的データを蓄積することで、サンプル材の含水率から実際の試験材含水率を推定できるようにすることや、蒸気高周波複合乾燥の時間を延長することで水分傾斜は少なくなると予想される。高周波印加時間が長くなることによる乾燥コスト増との兼ね合いを考え、バランスのとれた乾燥スケジュールを検討していく必要がある。

第3表 乾燥後の試験材の水分傾斜

Table 3. Moisture distribution of dried specimens.

	①蒸気式 人工乾燥 ①Steam-drying	②蒸気高周波複合乾燥 ②Hybrid drying with high frequency
1層:表層部 First layer: Surface	8.2	10.2
2層 Second layer	19.7	19.4
3層 Third layer	21.9	20.4
4層:中心部 Forth layer: Core	23.7	20.7

注1) 平均仕上がり含水率: ①蒸気式人工乾燥 15.4%, ②高周波蒸気複合乾燥 16.6%
Note 1) Av. of final MC: ① Steam-drying=15.4%, ② Hybrid drying with high frequency=16.6%

第2表 試験材の乾燥試験結果

Table 2. The quality of specimens after drying.

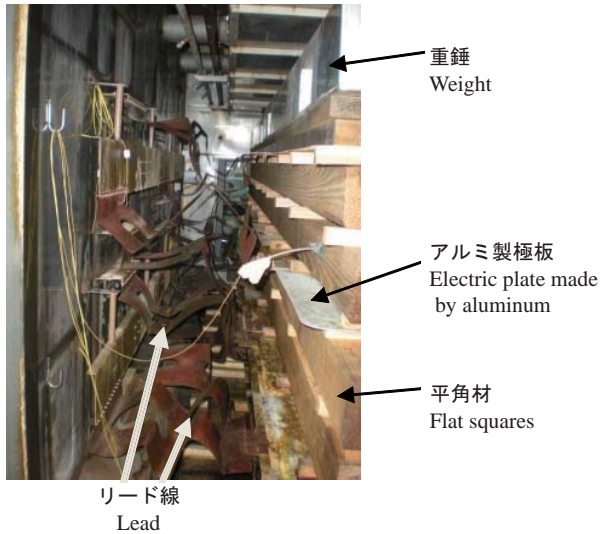
		試験材数	乾燥 所要 日数	平均 初期 含水率	平均 仕上 含水率	表層 部の 含水率	中心 部の 含水率	表面 割れ 面積
		Pieces of lumber	Drying time (day)	Av. of initial MC (%)	Av. of final MC (%)	Av. of surface MC (%)	Av. of core MC (%)	Surface check area (cm ² /specimen)
①蒸気式 人工乾燥	①Steam-drying	15	9.8	45.4	15.4	8.2	23.7	8.5
②蒸気 高周波 複合乾燥	②Hybrid drying with high frequency	15	6.7	46.9	16.6	10.2	20.7	16.0

注1) 平角材寸法: 厚120×幅295×長4000mm

Note 1) Size of flat square: (T) 120×(W) 295×(L) 4000mm

注2) 内部割れは、すべての試験材で認められなかった。

Note 2) Internal checks were not caused in any specimen.



第5図 高周波印加のためのリード線と極板の接続
Fig. 5. Connection of the leads and the electric plates to apply high frequency.

4. おわりに

カラマツ大径材による建築用材生産技術で重要となる乾燥方法の検討を、蒸気式人工乾燥と蒸気高周波複合式乾燥の二つの方法で行った。その結果、蒸気高周波複合式乾燥方法では、次の点が重要と思われた。

- ① 経験的データを蓄積することにより、仕上がり含水率の精度を向上させること
- ② 乾燥材の品質を落とさないようにしつつ、乾燥コストにも配慮した条件設定を行っていくこと

今後は、乾燥装置メーカーとの連携により、高周波印加に必要なアルミ製極板の積み重ねやリード線の接続などの複雑な手間を軽減することでより取り組みやすい乾燥方法に進化させていきたいと考えている。

次報では、木取り方法の差異（二方桁と四方桁）による乾燥後の正角材の品質評価について述べる。

文 献

- 1) 北海道水産林務部林務局林業木材課：平成22年度カラマツ素材・製材流通調査 平成24年2月(2012).
- 2) 北海道：平成23年度北海道森林づくり白書，78-81 (2012).
- 3) 林産試験場：“テクニカルノート木材乾燥（改訂

新版” ，62-68 (2010).

- 4) 黒田尚宏：木材学会誌 53 (5)，243-253 (2007).
- 5) 小野広治：センターだより（奈良県森林技術センター），4-5 (2002).
- 6) 小野広治，久保健，寺西康浩，山本泰司：林業技術 No.736，47-52 (2000).
- 7) 寺西康浩，小野広治，岡崎旦，山本泰司，上田守：奈良県森林技術センター研報 No.30，23-27 (2003).
- 8) 豆田俊治，田口孝男：大分県農林水産研究指導センター研究報告（林業研究部編）No.2，1-7 (2012).
- 9) 伊藤洋一：林産試だより 2011年7月号，<http://www.fpri.hro.or.jp/dayori/1107/1107-2-1.pdf>
- 10) 伊藤洋一：林産試だより 2012年9月号，<http://www.fpri.hro.or.jp/rsdayo/11209020304.pdf>
- 11) 伊藤洋一：カラマツ大径材による建築用材生産技術の検討，林産試験場年報（平成22年度），10 (2011).
- 12) 伊藤洋一，中畠厚：林産試験場報 15 (6)，8-17 (2001).
- 13) 伊藤洋一，中畠厚，中川伸一，幡多輝昭：林産試験場報 16 (3)，7-15 (2002).
- 14) 伊藤洋一，中畠厚，中川伸一，幡多輝昭：林産試験場報 16 (6)，7-15 (2002).
- 15) 伊藤洋一，中畠厚，大崎久司，上野英治，長澤岳志：林産試験場報 17 (5)，16-26 (2003).
- 16) 伊藤洋一，中畠厚，大崎久司，上野英治，長澤岳志：林産試験場報 18 (3)，23-32 (2004).
- 17) 伊藤洋一，中畠厚，大崎久司，上野英治，長澤岳志：林産試験場報 19 (3)，13-21 (2005).
- 18) 伊藤洋一，中畠厚，大崎久司，上野英治，長澤岳志：林産試験場報 20 (2)，7-15 (2006).

—技術部 生産技術グループ—
(原稿受理：12.12.4)