木材の地産地消に関する研究
－太陽熱利用木材乾燥施設における木材乾燥実験－

尾池孝太
指導教員　赤林伸一教授

研究目的

近年、農産物を中心に安全性や地域農産物の多様性を確保する等の観点から地域生産地域消費（地産地消）という概念が定着している。国際化が進展する現代社会において、輸入農産物と国内の農産物を評価するため、フードマイレージ（food mileage）などの食料の輸送距離に関する概念が構築され、農産物における地球環境負荷を評価する試みが進められている。

建築分野ではフードマイレージと同様の概念として、ウッドマイルズ研究会が建築物の環境負荷を評価するため、木材の材積と輸送距離を掛け合わせたウッドマイレージという概念を整備している。ウッドマイレージは流通時の環境負荷に着目した概念であり、国内産材使用による環境負荷低減効果を評価して消費者の購買意欲を喚起し、環境に配慮した地球にやさしい住宅生産を誘導できる可能性がある。

新潟県では木材の地産地消を推奨しており、越後杉のブランド名で県内産材の利用を促している。既報[文献1)]では新潟県加茂市に位置する製材所を対象に、木材の輸送・製材工程及び住宅施工時におけるエネルギー消費量・CO_2 排出量に関する調査結果を報告した。全工程では製材所での製材工程が全体の 73.5%、製材工程では木材乾燥工程が全体の 50%～ 62%と大部分を占めており、木材乾燥工程における人工乾燥機のエネルギー消費量・CO_2 排出量が相対的に多いことを明らかにした。

本研究では木材の輸送・製材工程及び住宅施工時におけるエネルギー消費量の大部分を占めている人工乾燥機の省エネルギー化に着目し、太陽熱を利用した木材乾燥施設を作成して県内産材を使用した木材乾燥実験を行い、環境負荷低減効果のある木材乾燥方法について検討することを目的とする。

研究概要

2.1　木材乾燥実験概要

本研究では木材乾燥施設を３棟作成し、木材乾燥に最適な乾燥施設の仕様や木材の設置方法などの検討を行う。研究対象とする木材は、森林組合から入荷し、製材所で製材された新潟県産杉材とする。又、木材乾燥の評価については木材含水率 20%を目安にし、20%以下となった木材を出荷可能な木材として評価する。

2.2　温熱環境測定概要

木材乾燥施設の温熱環境は、温湿度計により測定する。又、外部温熱環境及び全天日射量は気象観測装置により測定する。

2.3　木材含水率測定概要

木材含水率の算定には木材重量と杉の全乾比重から求める全乾法※1 を用いる。木材含水率は、全乾状態の木材重量に対する水分の重量の割合で表す。全乾重量は木材の容積と杉の全乾比重を乗じた値を使用する。

熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS による太陽熱利用木材乾燥施設の温熱環境の解析

3.1　解析概要

本研究では木材乾燥実験前に熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS により、太陽熱利用木材乾燥施設の温熱環境の解析を行う。表１に解析 case を示す。気象データには、日本建築学会拡張アメダス気象データ標準年（新潟市）を用いる。解析は壁材・コンクリートブロックの有無を変化させた全４ケースとする。

3.2　解析結果

表２に各 case の解析結果を示す。単層ガラスは夏季では温度は 33.7℃、相対湿度は 52.1%となり、冬季では温度は 5.3℃、相対湿度は 64.5%となる。複層ガラスは夏季では温度は 40℃、相対湿度は 39.7%となり、冬季では温度は 8.6℃、相対湿度は 55%となる。単層ガラスと複層ガラスを比較すると、夏季では複層ガラスの方が温度は 6.3℃高く、相対湿度は 12.4%低くなる。冬季では複層ガラスの方が温度は 3.3℃高く、相

表１　解析 case

解析 case	case１	case２	case３	case４
対象の概要	太陽熱利用木材乾燥施設		断熱強化した太陽熱利用木材乾燥施設	
壁材（東・西・南）	単層ガラス		複層ガラス	
壁材（北）	木造			
換気回数 [回/h]	0.5			
コンクリートブロック（蓄熱体）の有無	無	有	無	有

はＣ棟の温度・相対湿度は外気の温度・相対湿度と等しいと仮定する。又、全天日射量は気象観測装置により測定する。Ａ棟・Ｂ棟に設置した温湿度計は乾燥施設中央付近の測定点①（X=1950mm、Y=1200mm、Z=1500mm）、換気扇付近の測定点②（X=400mm、Y=500mm、Z=4500mm）、換気口付近の測定点③（X=1450mm、Y=0mm、Z=200mm）の３か所に設置して測定を行う。本実験では木材含水率の算定に用いる全乾比重の値は、一般的な杉の全乾比重である 0.35g/cm^3 とする。

4.2　温熱環境測定結果

図３に各乾燥施設の温熱環境※３を示す。太陽熱利用木材乾燥施設Ａ棟・Ｂ棟は、日射により施設内の温度は大幅に上昇する。断熱強化された乾燥施設Ａ棟と断熱強化していない乾燥施設Ｂ棟では、熱貫流率は断熱強化されたＡ棟の方が小さいが、日射透過率はＢ棟の方が大きい。そのため、日射の多い時間帯ではＢ棟の方がＡ棟より温度は高くなり、相対湿度は低くなる。逆に日射のない時間帯ではＡ棟の方がＢ棟より温度は高くなり、相対湿度は低くなる。又、日中でも日射が少ない日は、Ａ棟とＢ棟でほとんど差がなく、外気との差も日射の多い日と比べて小さくなる。

表２　各 case の解析結果

（１）　平均温度

平均温度［℃］	春季（5/1-5/31）	夏季（8/1-8/31）	秋季（10/1-10/31）	冬季（1/1-1/31）
case１	22.5	33.7	22.0	5.3
case２	22.4	33.7	22.0	5.3
case３	28.3	39.9	27.6	8.5
case４	28.3	40.0	27.7	8.6
外気	16.6	26.4	16.1	2.5

（２）　平均相対湿度

平均相対湿度［%］	春季（5/1-5/31）	夏季（8/1-8/31）	秋季（10/1-10/31）	冬季（1/1-1/31）
case１	50.6	53.1	57.0	65.4
case２	49.6	52.1	55.4	64.5
case３	40.1	42.0	46.9	57.1
case４	38.0	39.7	43.7	55.0
外気	65.2	72.6	71.4	73.4

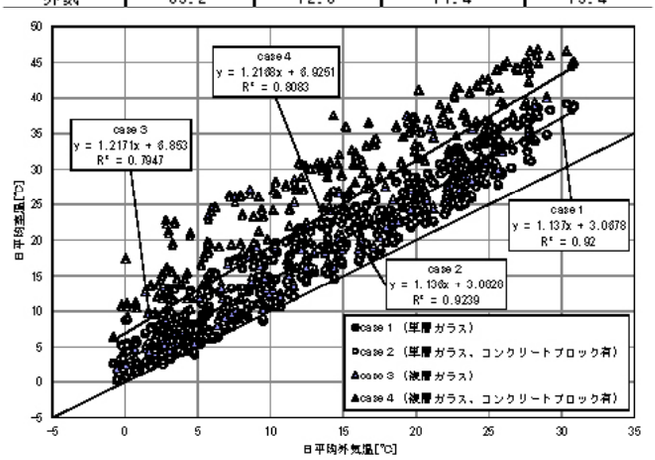


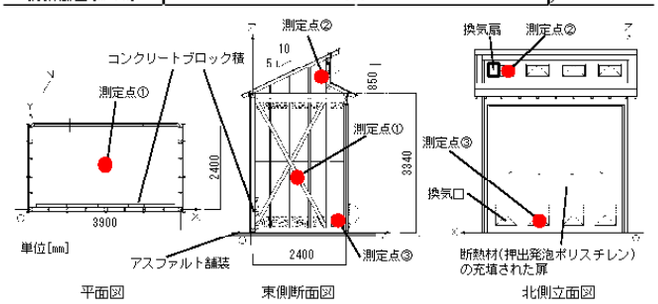
図１　シミュレーションによる各 case の日平均外気温と日平均室温の関係

表６に秋季・冬季における各測定点の平均温湿度を示す。Ａ棟・Ｂ棟で測定点②の温度が比較的高くなり、Ａ棟とＢ棟を比較すると、秋季・冬季ともに各測定点で温湿度差はほとんどない。Ａ棟と外気を比較すると、秋季ではＡ棟の方が温度は 5.3℃高く、相対湿度は 20%低くなる。冬季ではＡ棟の方が温度は 2.1℃高く、相対湿度は 8.4%高くなる。冬季の乾燥施設内の相対湿度が外気より高いのは、搬入した木材からの水分放散の影響であると考えられる。

図４に日平均外気温と日平均室温※３の関係を示す。Ａ棟・Ｂ棟で日平均外気温と日平均室温の相関は高く、外気温の上昇に伴い室温も上昇する。又、日平均外気

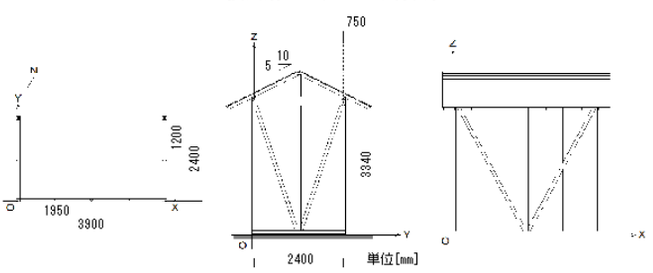
表３　木材乾燥施設の仕様（実験①）

	Ａ棟	Ｂ棟	Ｃ棟
壁材（東・西・南）	ポリカーボネート板＋透明断熱シート	ポリカーボネート板	木造 屋根のみ
壁材（北）	断熱材（押出発泡ポリスチレン20mm）の充填された扉		
熱損失係数［W/(m^2・K)］	18.0	27.5	
熱貫流率［W/(m^2・K)］	3.4	6.1	
日射透過率［%］	48.6	81.0	
換気風量［m^3/h］	588		



（１）　Ａ棟・Ｂ棟

※換気扇は 11/30 から稼働。



（２）　Ｃ棟

図２　木材乾燥施設の概要（実験①）

表４　各乾燥施設における木材の設置条件（実験①）

木材	正角材（130mm×130mm×2000mm）			平板材（210mm×40mm×2000mm）			
置き方	横置き		縦置き	横置き			縦置き
間隔	8.9cm	3.5cm	15cm	8.9cm	3.5cm	なし	5cm
搬入数	10本	10本	20本	6枚	6枚	6枚	18枚
合計	40本			36枚			

表５　各乾燥施設の測定概要（実験①）

		Ａ棟	Ｂ棟	Ｃ棟
測定期間		2010年９月27日～2011年１月16日		
木材搬入日		2010年11月４日		
測定方法	温度	温湿度計		気象観測装置
	相対湿度			
	全天日射量	気象観測装置		

対湿度は 9.5%低くなる。コンクリートブロックの有無による影響は、単層ガラス・複層ガラスで温度・相対湿度の差はほとんどない。

図１にシミュレーションによる各 case の日平均外気温と日平均室温の関係を示す。各 case で外気温と室温の相関は高く、外気温の上昇に伴い室温は上昇する。日平均外気温が 15℃のとき、日平均室温は単層ガラスでは約 20℃、複層ガラスでは約 25℃となる。日平均外気温が 30℃のとき、日平均室温は単層ガラスでは約 37℃、複層ガラスでは約 43℃となる。

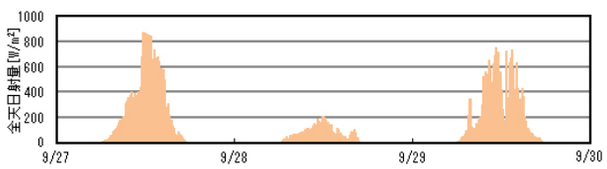
太陽熱を利用した木材乾燥実験（実験①）

4.1　実験概要

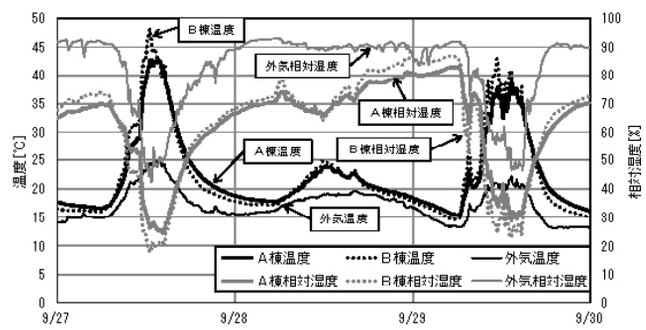
4.1.1　木材乾燥施設の概要：表３に木材乾燥施設の仕様を、図２に木材乾燥施設の概要を示す。Ａ棟はポリカーボネート板（厚さ２mm）と透明断熱シート※2を使用して断熱強化した木材乾燥施設、Ｂ棟はポリカーボネート板のみを使用した木材乾燥施設、Ｃ棟は木造で壁のない屋根のみとする。Ａ棟・Ｂ棟の北側は断熱材（押出発泡ポリスチレン 20mm）の充填された扉となっており、南側に 3600 ㎜× 100 ㎜× 1000mm のコンクリートブロックを、北側下部に換気口を、上部に換気扇を設置する。

4.1.2　木材乾燥実験の概要：本実験では各乾燥施設に正角材と平板材の２種類の木材を設置する。表４に各乾燥施設における木材の設置条件を示す。正角材は横置き間隔 8.9cm が 10 本、横置き間隔 3.5cm が 10 本、縦置き間隔 15cm が 20 本の合計 40 本を設置する。平板材は横置き間隔 8.9cm が６本、横置き間隔 3.5cm が６本、横置き間隔なしが６本、縦置き間隔５cm が 18 本の合計 36 本を設置する。

表５に各乾燥施設の測定概要を示す。測定期間は 2010 年９月 27 日から 2011 年１月 16 日で、11 月４日に木材を搬入し、定期的に木材重量を測定する。Ａ棟とＢ棟の温度・相対湿度は温湿度計により測定し、Ｃ棟の温度・相対湿度は気象観測装置により測定する。Ｃ棟は壁のない屋根のみの乾燥施設のため、本実験で



（１）　全天日射量



（２）　温度・相対湿度

図３　各乾燥施設の温熱環境（実験①）

表６　秋季・冬季における各測定点の平均温湿度

（１）　秋季（9/27-10/31）

9/27-10/31	A棟		B棟		外気	
	温度[℃]	相対湿度[%]	温度[℃]	相対湿度[%]	温度[℃]	相対湿度[%]
測定点①	20.4	62.9	20.4	62.7	15.2	83.1
測定点②	20.8	63.4	21.1	63.4		
測定点③	20.2	63.1	20.9	64.5		

（２）　冬季（11/1-1/16）

11/1-1/16	A棟		B棟		外気	
	温度[℃]	相対湿度[%]	温度[℃]	相対湿度[%]	温度[℃]	相対湿度[%]
測定点①	6.0	95.5	6.4	94.4	4.2	86.5
測定点②	6.6	94.4	6.7	93.6		
測定点③	6.3	94.8	6.4	94.2		

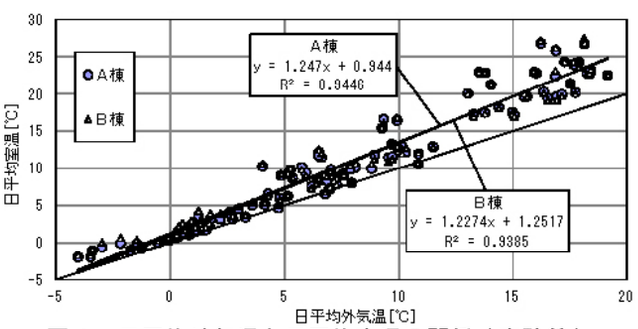
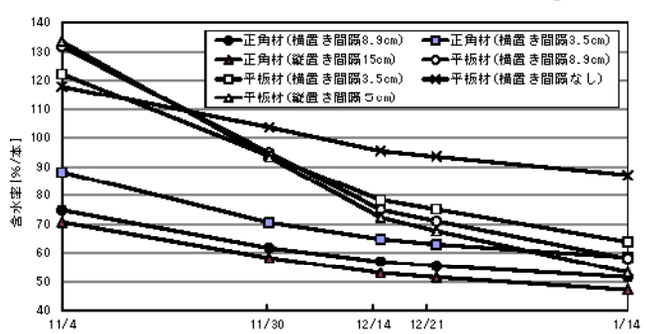
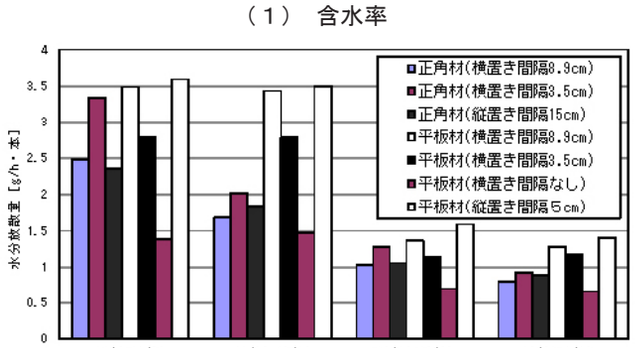


図４　日平均外気温と日平均室温の関係（実験①）



（１）　含水率



（２）　１時間当たりの水分放散量

図５　木材設置条件による木材乾燥状況（実験①）

※図中の数値は正角材・平板材の各設置条件ごとの全木材の平均値。

するため、乾燥施設内に扇風機を設置する。気流の有無による乾燥性能を比較するため、Ａ棟は扇風機なし、Ｂ棟は扇風機ありとして木材乾燥実験を行う。扇風機はＢ棟の東側と西側に２台設置して室中央に向けて送風し、平均風速 1.2m/s の室内気流を与える。又、Ａ棟・Ｂ棟の北側下部の換気口を閉じ、上部には熱交換換気扇を４台ずつ設置する。Ｃ棟は前実験と同様に木造で壁のない屋根のみとする。

5.1.2　木材乾燥実験の概要：本実験では各乾燥施設及び外部に正角材を設置する。表８に各乾燥施設における木材の設置条件を示す。Ａ棟・Ｂ棟・Ｃ棟には横置きと斜め置きを各 10 本、外部には横置きを 10 本設置する。横置きは上下２段で十分に間隔を空けて設置し、斜め置きは 60° の角度で設置する。

表９に各乾燥施設の測定概要を示す。測定期間は 2011 年６月 16 日から 2011 年９月１日で、６月 17 日に木材を搬入し、定期的に木材重量を測定する。Ａ棟とＢ棟の温度・相対湿度は温湿度計により測定し、Ｃ棟の温度・相対湿度は百葉箱内に設置した温湿度計により測定する。全天日射量は気象観測装置により測定する。Ａ棟・Ｂ棟に設置した温湿度計は乾燥施設中央付近（X=1950mm、Y=1200mm、Z=1500mm）に設置する。Ｃ棟百葉箱は X=−200mm、Y=200mm、Z=1500mm の位置に設置する。本実験では木材含水率の算定に用いる全乾比重の値は、各木材の両端から２cm 角の試験材を６個採取し、105℃の恒温器に入れて全乾状態まで乾燥させて求めた各試験材の全乾比重の平均値を木材１本の全乾比重とする。

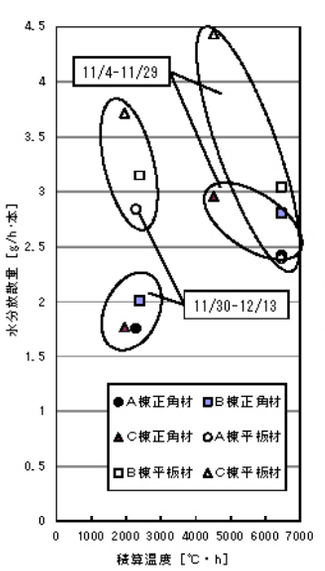


図６　乾燥開始から約１か月半 (11/4-12/13) の期間における積算温度と木材の水分放散量

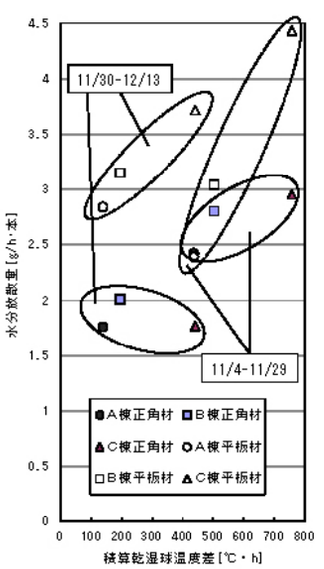


図７　乾燥開始から約１か月半 (11/4-12/13) の期間における積算乾湿球温度差と木材の

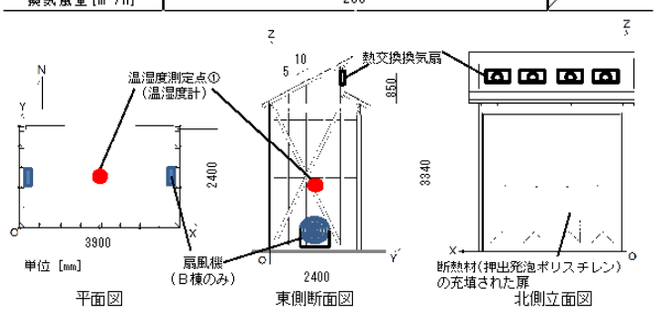
5.2　温熱環境測定結果

図９に各乾燥施設の温熱環境を示す。Ａ棟とＢ棟の温度・相対湿度はほぼ等しく、日射の多い時間帯では温度は 55℃前後まで上昇し、相対湿度は 15%前後まで下降する。外気とは温度は約 23℃、相対湿度は約 20%の差がある。

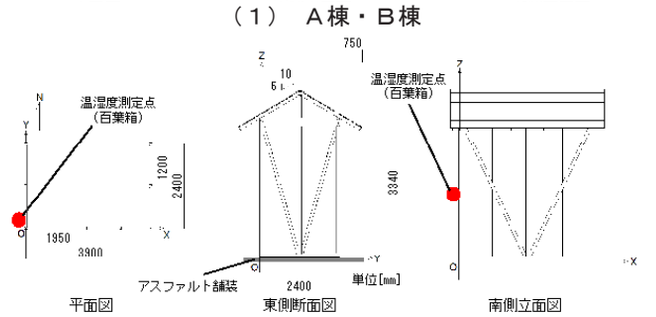
図 10 に日平均外気温と日平均室温の関係を示す。Ａ棟・Ｂ棟で日平均外気温と日平均室温の相関は高く、外気温の上昇に伴い室温も上昇する。又、日平均外気温が高いほど、Ａ棟・Ｂ棟と外気温の温度差は大きくなる。日平均外気温が 20℃のとき日平均室温は約 23℃となり、日平均外気温が 30℃のとき日平均室温は約

表７　木材乾燥施設の仕様（実験②）

	Ａ棟	Ｂ棟	Ｃ棟
壁材　(東・西・南)	ポリカーボネート板		木造　屋根のみ
壁材　(北)	断熱材（押出発泡ポリスチレン20mm）の充填された扉		
概要	扇風機なし	扇風機あり	
熱損失係数 [W/(m²・K)]	27.5		
熱貫流率 [W/(m²・K)]	6.1		
日射透過率 [%]	81.0		
換気風量 [m³/h]	288		



（１）　Ａ棟・Ｂ棟



（２）　Ｃ棟

図８　木材乾燥施設の概要（実験②）

表８　各乾燥施設における木材の設置条件（実験②）

	Ａ棟		Ｂ棟		Ｃ棟		外部
概要	ポリカーボネート板（扇風機なし）		ポリカーボネート板（扇風機あり）		木造　屋根のみ		雨ざらし
木材	正角材（120mm×120mm×1500mm）						
置き方	横置き（上下２段）	斜め置き	横置き（上下２段）	斜め置き	横置き（上下２段）	斜め置き	横置き（上下２段）
搬入数	10本	10本	10本	10本	10本	10本	10本
合計	20本		20本		20本		10本

表９　各乾燥施設の測定概要（実験②）

		Ａ棟	Ｂ棟	Ｃ棟
測定期間		2011年６月16日～2011年９月１日		
木材搬入日		2011年６月17日		
測定方法	温度	温湿度計		温湿度計（百葉箱）
	相対湿度			
	全天日射量	気象観測装置		

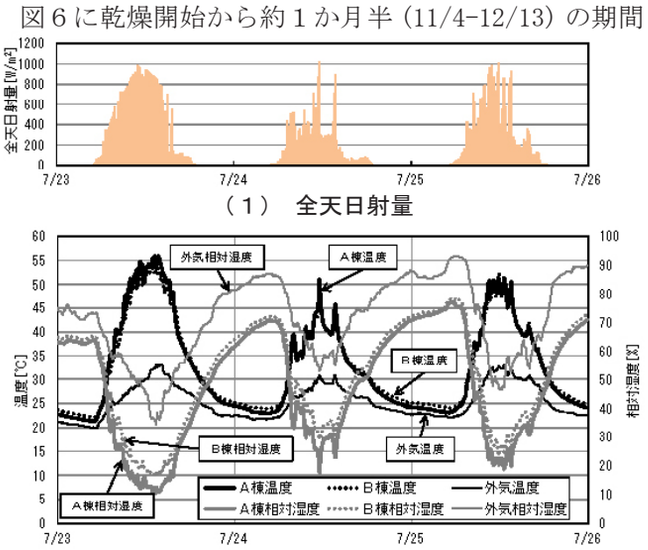
温が高いほど、Ａ棟・Ｂ棟と外気温の温度差は大きくなる。日平均外気温が５℃のとき日平均室温は約７℃となり、日平均外気温が 15℃のとき日平均室温は約 20℃となる。

4.3　木材乾燥実験測定結果

図５に木材設置条件による木材乾燥状況を示す。正角材では横置き間隔 3.5cm が最も良く乾燥し、含水率の平均値は 88.1%から 58.4%と 29.7 ポイント減少する。平板材では縦置き間隔５cm が最も良く乾燥し、含水率の平均値は 133.5%から 53.1%と 80.4 ポイント減少する。外気温の低い冬季において、正角材は乾燥速度が遅いため含水率を 20%以下にすることは難しい。平板材は実験開始時の含水率が高かったため、含水率は 20%以下とならなかったが、冬季の期間でもある程度乾燥させることは可能である。又、１時間当たりの水分放散量は木材乾燥開始当初の期間に多く、その後は徐々に少なくなる。平板材の横置き間隔なしは他の設置条件に比べて極端に乾燥速度が遅いため、木材乾燥には間隔を空けて風通しを良くし、水分放散量を増やすことが重要であると考えられる。

図６に乾燥開始から約１か月半（11/4-12/13）の期間における積算温度※5と木材の水分放散量※4の関係を示す。乾燥開始から約１か月（11/4-11/29）では、正角材・平板材の場合Ｃ棟はＡ棟・Ｂ棟よりも積算温度は低いが、水分放散量は多い。これは湿度・気流による影響が大きいことが考えられる。

図７に乾燥開始から約１か月半（11/4-12/13）の期間における積算乾湿球温度差※6と木材の水分放散量※4の関係を示す。乾燥開始から約１か月半（11/4-12/13）では、積算乾湿球温度差と水分放散量には相関関係があり、積算乾湿球温度差が大きいほど水分放散量が多くなる傾向がある。乾燥開始から約１か月（11/4-11/29）では、正角材・平板材の場合Ｃ棟が最も積算乾湿球温度差が大きく水分放散量が多くなり、次にＢ棟、Ａ棟の順である。



（１）　全天日射量

（２）　温度・相対湿度

図９　各乾燥施設の温熱環境（実験②）

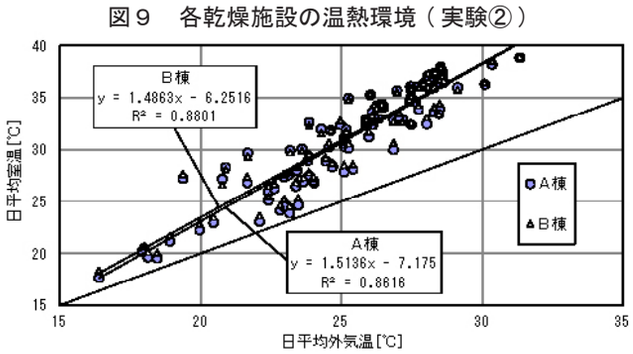
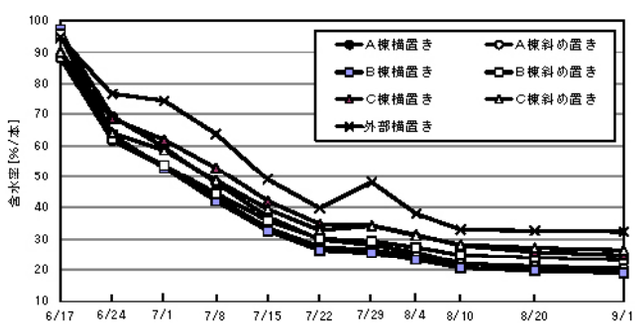


図 10　日平均外気温と日平均室温の関係（実験②）

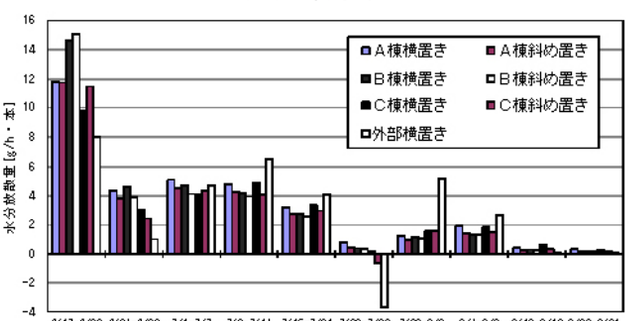
室内気流を与えた木材乾燥実験（実験②）

5.1　実験概要

5.1.1　木材乾燥施設の概要：表７に木材乾燥施設の仕様を、図８に木材乾燥施設の概要を示す。前実験では作成した木材乾燥施設Ａ棟の透明断熱シートによる断熱効果が十分に得られなかったため、本実験ではＡ棟の透明断熱シートを取り除き、Ｂ棟と同じポリカーボネート板のみの仕様とする。又、Ａ棟・Ｂ棟内に設置したコンクリートブロックによる蓄熱効果も十分に得られなかったため、本実験では取り除いた。本実験では木材に気流を与えた場合の木材乾燥性能を明らかに



（１）　含水率



（２）　１時間当たりの水分放散量

図 11　木材設置条件による木材乾燥状況（実験②）

※図中の数値は各乾燥施設の設置条件ごとの全木材の平均値。

38℃となる。

5.3　木材乾燥実験測定結果

図 11 に木材設置条件による木材乾燥状況を示す。各乾燥施設に設置した木材では、室内気流を与えたＢ棟の横置きが最も良く乾燥し、含水率の平均値は 97.2%から 19%と 78.2 ポイント減少する。同様にＡ棟の横置きでは、含水率の平均値は 96.2%から 19.5%と 76.7 ポイント減少する。外気温の高い夏季において、太陽熱利用木材乾燥施設Ａ棟・Ｂ棟では約２か月半で含水率を 100%から 20%以下にすることが可能である。又、１時間当たりの水分放散量は最初の１週間 (6/17-6/23) が極端に多く、その後は徐々に少なくなる。設置条件では水分放散量の差は少ないが、乾燥施設では最初の１週間 (6/17-6/23) で室内気流を与えたＢ棟の水分放散量が多く、他の乾燥施設との差も大きい。Ｃ棟及び外部に設置した木材は屋外に設置しているため、雨などの天候の影響を受けて水分放散量がマイナスの値になることがある。

図 12 に乾燥開始から２週間 (6/17-6/30) の期間における積算温度※５と木材の水分放散量※４の関係を示す。水分放散量が最も多い最初の１週間 (6/17-6/23) では、Ａ棟・Ｂ棟の積算温度は等しいが、水分放散量はＢ棟の方が多い。これはＢ棟内に設置した扇風機による気流が木材乾燥に有効であることを示している。又、屋外に木材を設置したＣ棟と外部では温度は等しいが、屋根により雨などの天候の影響を受けにくいため、水分放散量はＣ棟の方が多い。次の１週間 (6/24-6/30) では、最初の１週間 (6/17-6/23) と積算温度の違いは少ないが、水分放散量は極端に減少している。又、Ｂ棟内に設置した扇風機による気流の影響は 6/17-6/23 の期間より少なく、Ａ棟の水分放散量とほぼ等しい。

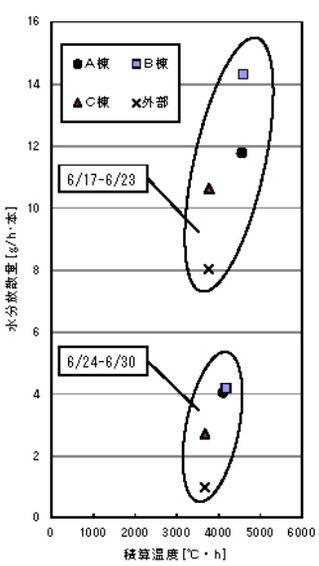


図 12　乾燥開始から２週間 (6/17-6/30) の期間における積算温度と木材の水分放散量の関係（実験②）

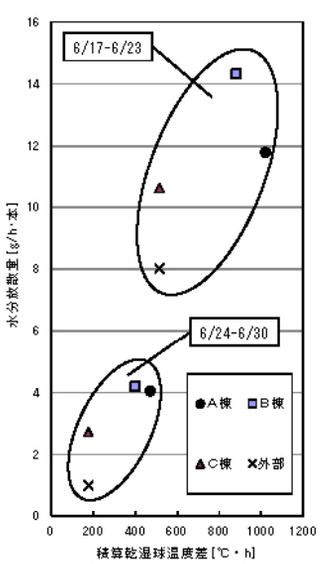


図 13　乾燥開始から２週間 (6/17-6/30) の期間における積算乾湿球温度差と木材の水分放散量の関係（実験②）

図 13 に乾燥開始から２週間 (6/17-6/30) の期間における積算乾湿球温度差※６と木材の水分放散量※４の関係を示す。最初の１週間 (6/17-6/23) では、積算乾湿球温度差はＢ棟よりＡ棟の方が大きいため、温熱環境ではＡ棟の方が木材乾燥に適しているが、水分放散量はＢ棟の方が多い。これは木材乾燥には気流の影響が大きいことを示している。しかし、次の１週間 (6/24-6/30) では、Ａ棟とＢ棟で水分放散量の差が少ないことから、木材乾燥において気流の影響は木材乾燥開始当初の期間では有効であるが、その後は気流の影響は小さいと考えられる。

結論

6.1　太陽熱を利用した木材乾燥実験

6.1.1　温熱環境測定結果

①日射の多い時間帯ではＢ棟（ポリカーボネート板）の方　がＡ棟（ポリカーボネート板＋透明断熱シート）より温　度は高くなり、逆に日射のない時間帯ではＡ棟の方が　Ｂ棟より温度は高くなる。

②作成した木材乾燥施設の透明断熱シートとコンクリー　トブロックによる断熱・蓄熱効果は得られない。

6.1.2　木材乾燥実験測定結果

①外気温の低い冬季において太陽熱利用木材乾燥施設で　は正角材は乾燥させることが難しいが、平板材は乾燥　させることが可能である。

②１時間当たりの水分放散量は木材乾燥開始当初の期間　に多く、時間が経つにつれて徐々に少なくなる。

③木材乾燥には湿度及び気流の影響が大きい。

6.2　室内気流を与えた木材乾燥実験

6.2.1　温熱環境測定結果

①Ａ棟・Ｂ棟（ともにポリカーボネート板）の温度・相対　湿度はほぼ等しく、日射の多い時間帯では温度

※１　全乾法：$U=\frac{Wu-Wo}{Wo}\times 100$　U:含水率[%]　Wu:木材重量[g]　Wo:全乾重量[g]
$Wo=Vo\gamma o$　Wo:全乾重量[g]　Vo:木材容積[cm³]　γo:杉の全乾比重[g/cm³]

※２　エアサンドイッチ：http://www.sekisui.co.jp/minase/airsand/

※３　温湿度計測定点①の値。

※４　水分放散量は各乾燥施設に設置した全木材の平均値。但し、平板材は横置き間隔なしの木材を除外した全木材の平均値。

※５　積算温度：１時間当たりの温度の積算値。

※６　積算乾湿球温度差：１時間当たりの乾球温度と湿球温度の差の積算値。空気が乾燥していれば値は大きくなり、空気中の水分が飽和すれば値は０となる。木材は空気が乾燥しているほど乾燥速度が速くなるため、積算乾湿球温度差が大きいほど木材乾燥性能は高いと考えられる。

文献１）　赤林・坂口他　「木材の地産地消に関する研究その１～５」日本建築学会大会学術講演梗概集 2009、2010 年