新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻
社会基盤・建築学コース（建築系）修士論文梗概　平成 24 年度

木材の地産地消に関する研究
−太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設における数値解析−

文欣潔
指導教員　赤林伸一教授

1　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（地産池消）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。日本では 2010 年に経済産業省において、商品へのライフサイクル CO_2 排出量を表示する「カーボンフットプリント制度」の試行事業が進められ、CFP マーク付商品の提供を試験的に実施している。

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、木材の輸送距離と体積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。製造物の環境影響の評価は、産業連関表によって解析する LCA 解析手法があるが、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軽減効果を評価し、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。

既往の研究[文 1)]では、製材所から建築現場までの木材の加工過程で消費されるエネルギー及び CO_2 排出量について解析を行い、木材の地産地消に関する環境負荷軽減効果について明らかにした。省エネルギー・省 CO_2 排出量の観点から県産材の有利性について検討し、県産材の利用を促進させるための基礎資料が整備されている。更に、製材所におけるエネルギー消費量の測定を行っており、乾燥工程におけるエネルギー消費量の割合が高いことが明らかとなっている。又、太陽熱を利用したパッシブ型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っている。

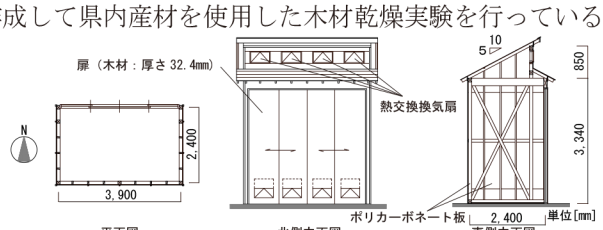


図 1　太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の概要

本研究では太陽熱利用パッシブ型乾燥施設を対象とした数値シュミレーションを行い、全国における太陽熱による木材乾燥の環境負荷軽減効果と木材乾燥に関する基礎的データを得ることを目的とする。

2　全国 842 都市における太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設内温湿度の数値解析

2.1 解析概要：本解析では太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設を対象とする。図 1 に太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の概要を、表 1 に太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の仕様を示す。乾燥施設の北側下部に設置されていた換気口を閉じ、北側上部には換気風量 72m^3/h、熱交換率 71％の熱交換換気扇を 4 台ずつ設置する。

2.2 解析条件：表 2 に解析条件を示す。本解析では 3 月から 5 月を春季、6 月から 8 月を夏季、9 月から 11 月を秋季、12 月から 2 月を冬季とする。全国 842 都市の室内温湿度を熱負荷計算ソフト TRNSYS を用いた数値解析結果の温湿度を基に各都市の季節毎の積算乾球温度※1 及び積算乾湿球温度差※2 を算出し、積算乾球温度マップ及び積算乾湿球温度差マップを作成する。

2.3　全国 842 都市における数値解析結果

2.3.1 積算乾球温度※1 マップ：図 2 に春季・夏季・秋季の積算乾球温度マップを示す。積算乾球温度は 1 年を通して札幌・青森等の比較的高緯度の地域及び軽井沢等の高地や阿蘇山等の山間部では小さく、宮崎・鹿児島等の比較的低緯度の地域では大きい傾向がある。特に夏季では横浜や静岡等の太平洋側沿岸部、広島や高松等の瀬

表 1　太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の仕様

壁材[東、西、南]	ポリカーボネート板（厚さ 6 ㎜）
壁材[北]	断熱材（押出発泡ポリスチレン 20㎜）の填充された扉
熱損失係数[W/m^2・K]	27.5
熱貫流率[W/m^2・K]	6.1
日射透過率[%]	81.0
換気風量[m^3/h]	288

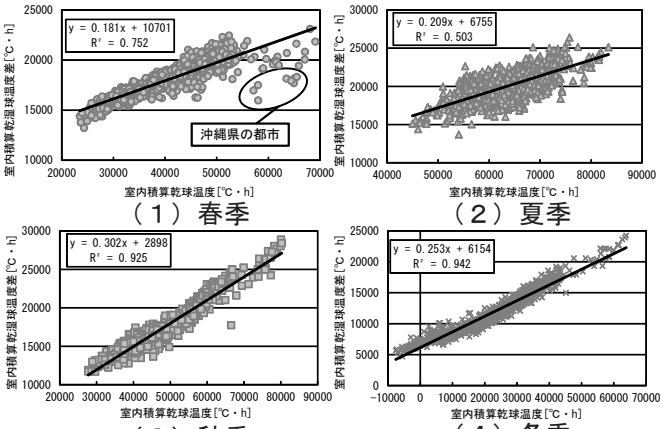
表 2　解析条件

解析対象	太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設Ａ棟
解析期間	1 月 1 日～12月31日
外気乾球温度［℃］	日本建築学会拡張アメダス気象データ標準年（各都市）
外気相対湿度［%］	
全天日射量［W/㎡］	
壁材［東・西・南］	ポリカーボネート板
壁材［北］	木造
換気回数［回/h］	8.154（熱交換換気扇）

戸内海沿岸部、石川や新潟等の日本海側沿岸部等、海沿いの地域で積算乾球温度が大きい傾向がある。既往の研究[文2)]では木材乾燥実験におけるＡ棟の積算乾球温度は夏季に約 58,000℃・ｈに達し、木材は十分に乾燥しており、夏季において殆どの地域でこの値を上回るため、太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の利用は有効である。

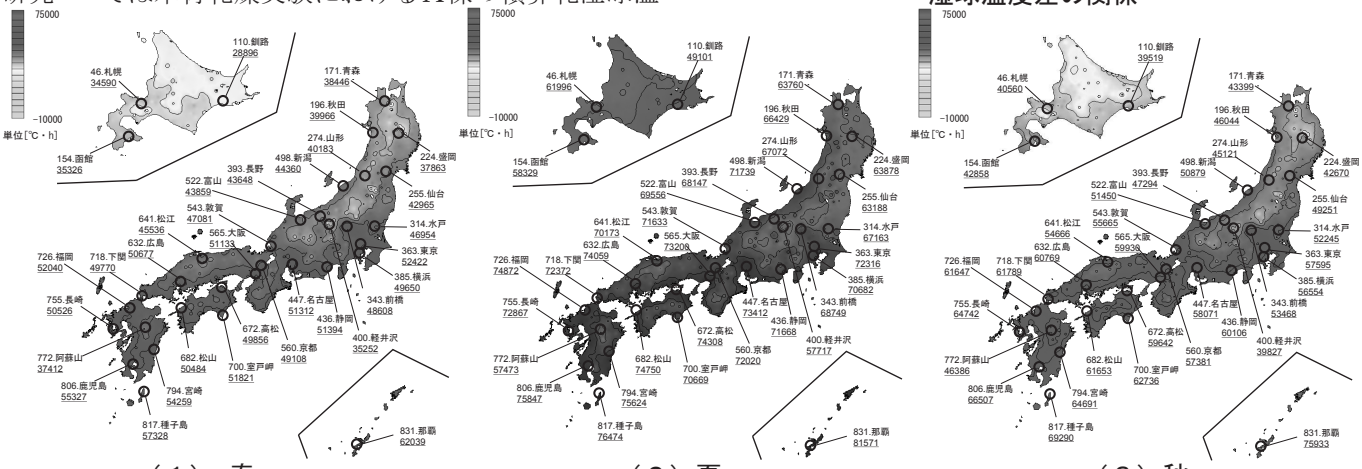
2.3.2 積算乾湿球温度差※2マップ：図３に春季・夏季・秋季の積算乾湿球温度差マップを示す。積算乾湿球温度差は１年を通して軽井沢等の高地や阿蘇山等の山間部では小さい傾向がある。春季・秋季は札幌・青森等の比較的高緯度の地域では小さく、宮崎・鹿児島等の比較的低緯度の地域では大きい傾向がある。春季では東京や横浜等の内陸部でも積算乾湿球温度差が大きい。夏季は京都・大阪等の内陸部や高松・松島等の瀬戸内海の沿岸部で積算乾湿球温度差が大きく、宮崎・鹿児島等の比較的低緯度の地域では積算乾湿球温度差が相対的に小さい。秋季は長崎・鹿児島等の比較的低緯度の地域では積算乾湿球温度差が夏季の値を上回る地点が有る。既往の研究[文2)]では木材乾燥実験におけるＡ棟の積算乾湿球温度差は夏季に約 14,500℃・ｈに達し、木材は十分に乾燥しており、夏季において殆どの地域でこの値を上回るため、太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の利用は有効である。

2.3.3 積算乾球温度と積算乾湿球温度差の関係：図４に春季・夏季・秋季・冬季の積算乾球温度と積算乾湿球温度差の関係を示す。春季・夏季は積算乾球温度が約



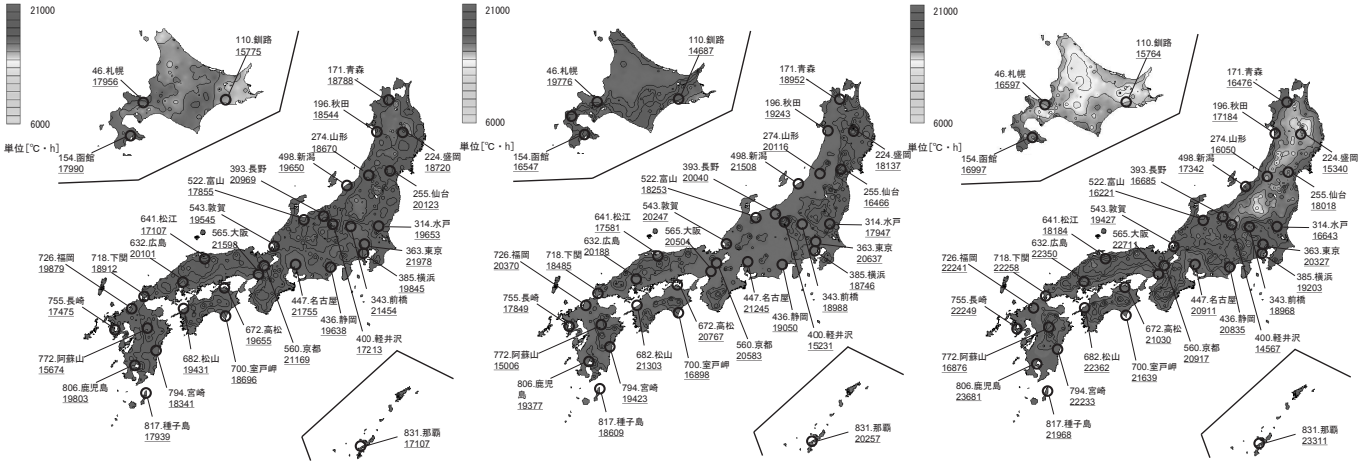
（１）春季　（２）夏季　（３）秋季　（４）冬季

図４　春季・夏季・秋季・冬季の積算乾球と積算乾湿球温度差の関係



（１）春　（２）夏　（３）秋

図２　春季・夏季・秋季の積算乾球温度マップ



（１）春　（２）夏　（３）秋

図３　春季・夏季・秋季の積算乾湿球温度差マップ

５℃・h 上昇すると積算乾湿球温度差は１℃・h 上昇する。同様に秋季は積算乾球温度が約３℃・h 上昇すると積算乾湿球温度差は１℃・h 上昇し、冬季は積算乾球温度が約４℃・h 上昇すると積算乾湿球温度差は１℃・h 上昇する。

3　太陽熱利用パッシブ型乾燥施設における主な杉の産地を対象とした数値解析

3.1 主な杉の産地における解析概要：表３に主な日本産ブランド杉の産地を示す。日本産杉の主要産地は秋田県、静岡県、三重県、新潟県、奈良県、鳥取県、愛媛県、大分県、宮崎県、鹿児島県である。これらの地域の積算乾球温度及び積算乾湿球温度差を TRNSYS により数値解析する。

主な杉の産地における解析の解析条件は太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設Ａ棟と同様の仕様とし、解析に用いる外部温湿度及び日射量は日本建築学会アメダス気象データ標準年の各都市のデータを用いる。解析期間は１月１日から 12 月 31 日までの１年間とする。本解析では、各都市における木材乾燥時の温熱環境を明らかにし、各都市での太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の乾燥性能について検討することを目的とする。

3.2 主な杉の産地における数値解析結果：図５に日本産杉の主要産地の季節毎の積算乾球温度を示す。夏季の積算乾球温度は 60,000℃・h ～ 76,000℃・h の範囲に入る。このため全国主要産地において夏季に太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の利用は可能と考えられる。

図６に日本産杉の主要産地の季節毎の積算乾湿球温度差を示す。積算乾湿球温度差は静岡・三重・宮崎が他の地域よりも大きく、年間を通して積算乾湿球温度差はほぼ等しい。秋田・新潟では冬期の積算乾湿球温度差は約 10,000℃・h と他の地域よりも低く、夏季と比較して約６割程度となる。このため冬季は太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設での木材乾燥期間は相対的に長くなる。

4　全国 842 都市における大型ガラス張り倉庫による木材乾燥の数値解析

4.1 大型ガラス張り倉庫の解析概要：本解析では、大型ガラス張り倉庫を対象とする。図７に大型ガラス張り倉庫の概要を示す。大型ガラス張り倉庫は、新潟県加茂市に位置する製材所内に建設する。表４に大型ガラス張り倉庫の解析条件を、表５に大型ガラス張り倉庫の仕様を示す。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を用いる。解析期間は１月１日から 12 月 31 日までとし、熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS により大型ガラス張り倉庫の温熱環境の解析を行う。

4.2 解析結果：図８に大型ガラス張り倉庫における年間・春季・夏季・秋季の積算乾球温度マップを示す。年間積算乾球温度は最大が 222,779℃・ｈ（石垣島）、最低は 57,428℃・ｈ（阿寒湖畔・北海道）、全国平均値が 126,926℃・h である。春季は最大が 53,916℃・h（石垣島）、最低は 11,811℃・ｈ（阿寒湖畔・北海道）であり、全国平均値は 28,198℃・h である。夏季は最大が 66,713℃・h（石垣島）、最低は 33,906℃・h（榊町・北海道）であり、全国

表３　主な日本産ブランド杉の産地

日本産杉のブランド名	県	使用した気象データの都市名
秋田杉	秋田	能代
天竜杉	静岡	浜松
尾鷲杉	三重	尾鷲
越後杉	新潟	新津
吉野杉	奈良	上北山
智頭杉	鳥取	智頭
久万杉	愛媛	久万
日田杉	大分	日田
飫肥杉	宮崎	油津
屋久杉	鹿児島	屋久島

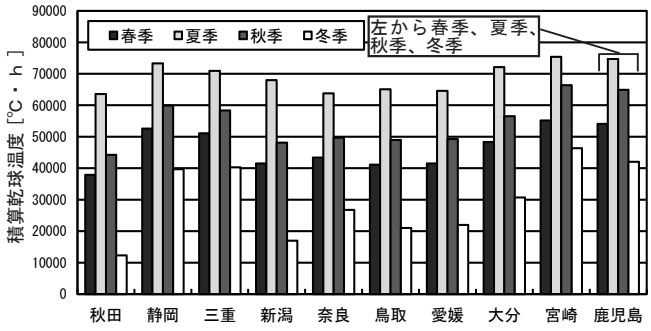


図５　日本産杉の主要産地の季節毎の積算乾球温度

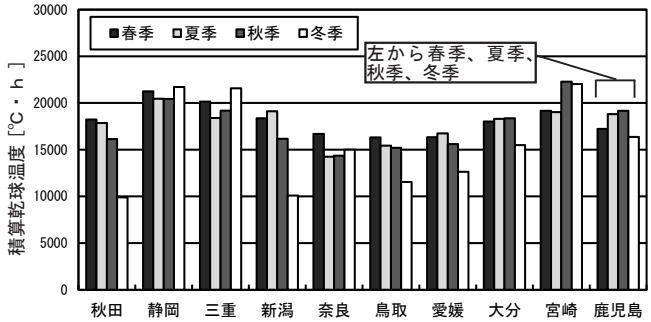
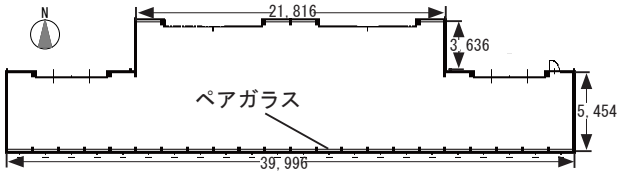


図６　日本産杉の主要産地の季節毎の積算乾湿球温度差

（１）　南面外観



（２）　平面図

図７　大型ガラス張り倉庫の概要

平均値は 51,620℃・h である。秋季は最大が 59,381℃・h（父島）、最低は 19,169℃・h（阿寒湖畔・北海道）であり、全国平均値は 36,128℃・h である。冬季は最大が 45,730℃・h（父島）、最低は −12,022℃・h（阿寒湖畔・北海道）であり、全国平均値は 10,980℃・h である。

積算乾球温度は１年を通して札幌・青森等の比較的高緯度の地域及び軽井沢等の高地や阿蘇山等の山間部は小さく、宮崎・鹿児島等の比較的低緯度の地域では大きい傾向がある。

解析結果は太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設と同様の傾向があり、積算乾球温度の年間平均値は 126,926℃・h である。この値は、既往の研究[文2)]における木材乾燥実験において木材が十分乾燥するＡ棟の積算乾球温度の約 58,000℃・h を上回るため、大型ガラス張り倉庫を木材乾燥施設として使用することが可能と考えられる。

本論文に関連する追加資料

1　越後杉の全乾比重分布に関する実験

1.1 実測対象の概要：木材の全乾比重を算出する上で、木材の全乾比重の分布を把握するための木材乾燥実験を行う。この実験には木材乾燥施設における木材乾燥実験 ㎜× 20 ㎜× 20 ㎜の試験体を６行３列 12 層の合計 216 に使用する新潟県産材杉を用いた一本の木材から、20 個を採取する。図９に試験体の概要を示す。

1.2 実験概要：本実験は 2011 年 12 月６日から 2011 年 12 月８日に行う。全ての試験体を 105℃の恒温器（井内盛栄堂: 定温乾燥器，D 0-300）に入れて質量一定（全乾状態）に

表４　大型ガラス張り倉庫の解析条件

解析期間	1月1日～12月31日
外気乾球温度[℃]	日本建築学会拡張アメダス気象データ標準年
外気相対湿度[%]	
全天日射量[W/m²]	
壁材[東、西、南]	杉12mm＋構造用合板18mm
壁材[北]	鉄0.8mm＋フネンエース4mm
床	コンクリート
換気回数[回/h]	1
室体積[m³]	1700.2
熱容量[KJ/K]	2040.2
初期室内温度[℃]	20
初期室内相対湿度[%]	50

表５　大型ガラス張り倉庫の仕様

	材質	熱貫流率[W/m²・K]	窓の有無
東	杉12mm＋構造用合板18mm	2.393	無
西			無
南			有
北			無
シャッター	鉄0.8mm+フネンエース4mm	3.719	
屋根			無
床	コンクリート	1.513	
窓	ペアガラス	1.4	

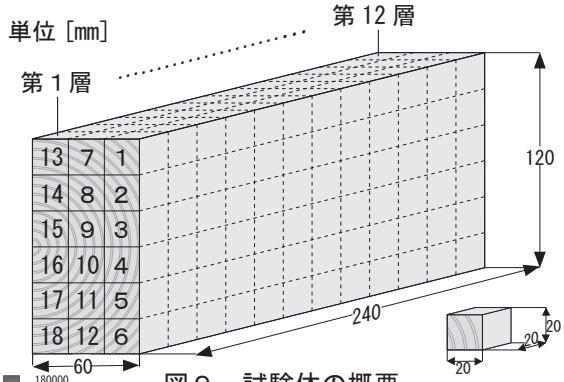
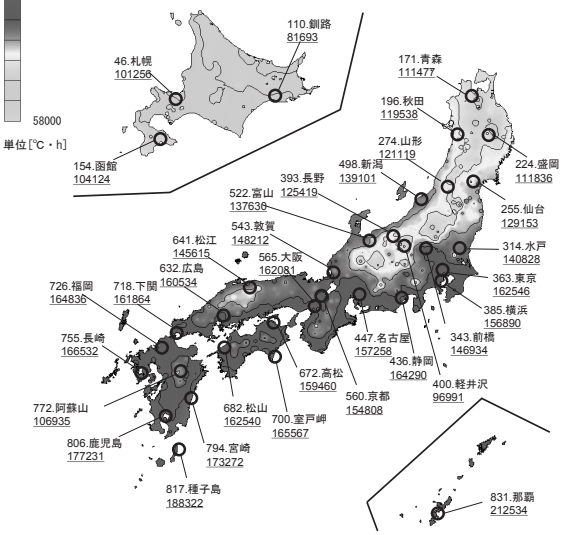
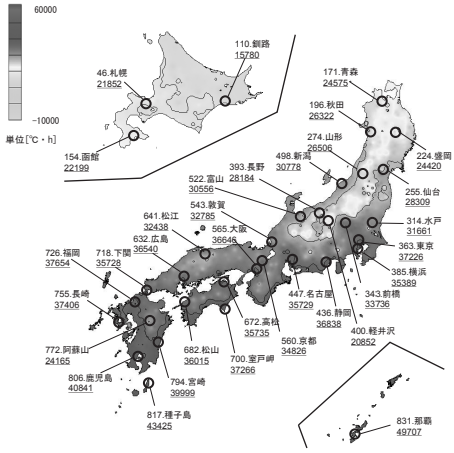
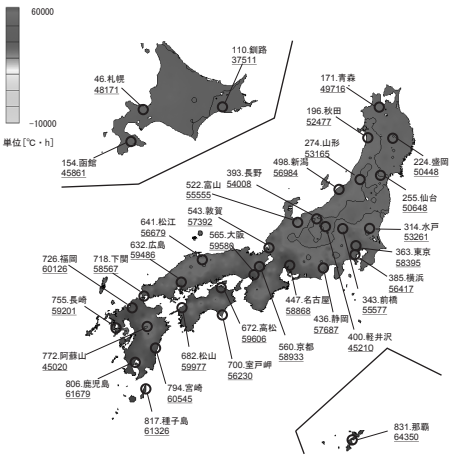


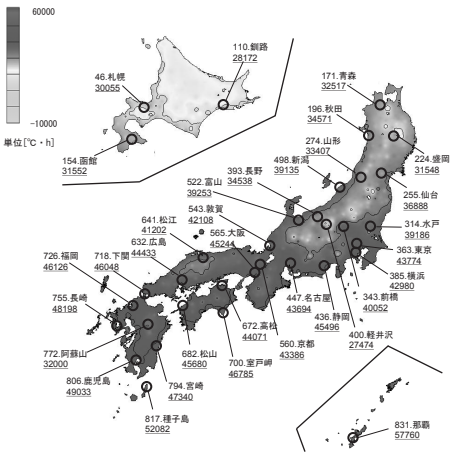
図９　試験体の概要



（１）　年間







（２）　春季　　（３）夏季　　（４）秋季

図８　大型ガラス張り倉庫における年間・春季・夏季・秋季の積算乾球温度マップ

なるまで乾燥させる。全乾状態となった試験体の重量を試験体の体積で割りそれぞれの全乾比重を算出する。

1.3 実測結果：図 10 に木材の全乾比重分布を示す。全乾比重の最大値は 0.72g/cm^3、平均値は 0.36g/cm^3 である。木材の全乾比重は試験体を採取した位置によって異なり、平均値より極端に大きい試験体もある。全乾比重が平均値よりも極端に大きい試験体は連続した層の同位置に存在している場合が多く、木材の節などの密度が高い部位と考えられる。全乾比重が 0.50g/cm^3 以上の試験体を木材の節として、節を除いた全ての試験体の全乾比重の平均値を算出する。節を除いた全ての試験体の全乾比重の平均値は 0.35g/cm^3 であり、節を除いていない場合の 0.36g/cm^3 とほぼ等しい。これは節として除いた試験体の数が試験体の総数に対して少ないため、全乾比重の平均値は大きく変わらなかったと考えられる。しかし、試験体の総数が少ない場合は節の影響が大きく、算出した全乾比重が実際の全乾比重よりも大きくなる可能性があるため、全乾比重の算出には節を除いた試験体を用いる方が適切であると考えられる。

2 エアコンを用いた木材乾燥実験

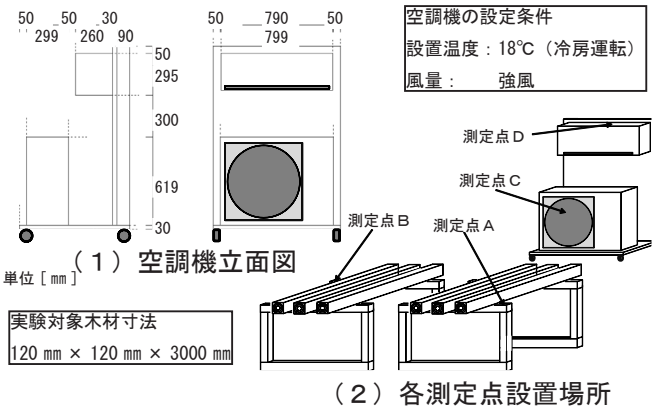
2.1 実験概要：地産材保管倉庫に保管されている未乾燥材を、エアコンの室外機からの気流により乾燥させるための装置を新たに作成し、乾燥初期段階の乾燥速度を実験的に明らかにする。

本実験では 2012 年 7 月 21 日から 2012 年 8 月 1 日までを測定期間とする。使用するエアコンは、パナソニックインバータ冷暖房除湿タイプのルームエアコン CS-V562C2（冷房能力 5.7kW）とする。この室内機と室外機を組み合わせて同時に室内で冷房運転し、設定温度は 18℃（最低温度）風量は強風とする。室外機からの気流を木材（未乾燥材）に当てて乾燥の度合いを木材の重量を毎日定時に測定することにより、乾燥初期にどの程度の気流の効果があるかを検証する。

対象とする木材は未乾燥材（120 ㎜× 120 ㎜× 3000 ㎜の正角材）とし、気流が当たる位置に 3 本、気流が当たらない位置に 3 本を設置し、これらを比較することにより、エアコンによる気流の効果を検討する。

2.2 温湿度実測結果：本実験では、地産材保管倉庫に温湿度計を 4 つ設置して、温湿度を測定する。図 11 に正角材の設置概要を、図 12 に各測定点における日平均温湿度を示す。測定点Ｃ（エアコン室外機吹出口）の乾球温度は最も高く、相対湿度は最も低くなる。

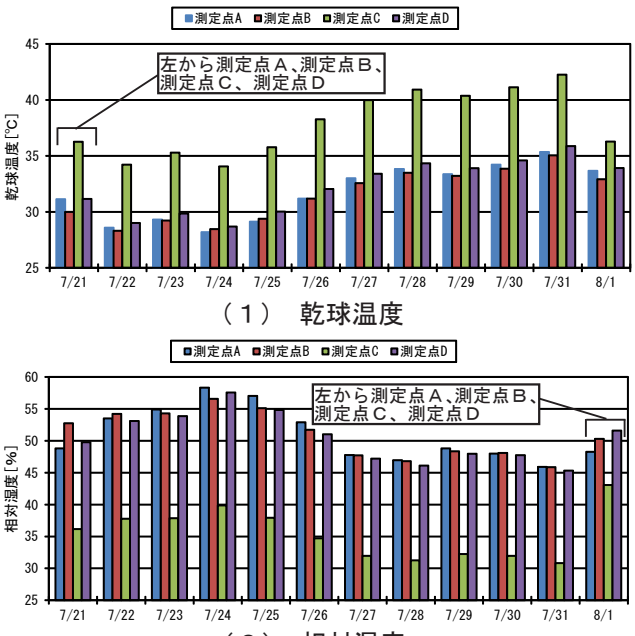
2.3 木材乾燥の実測結果：図 13 に木材の実測平均値を示す。木材の含水率は全乾法※3 を用いて算出し、各木材の全乾比重は 0.35g/ cm^3 を用いる。エアコンありの方がエアコンなしの場合より早く乾燥し、含水率は 109.66% から 63.67%と 45.99 ポイント減少する。



（１）空調機立面図

（２）各測定点設置場所

図 11　正角材の設置概要



（１） 乾球温度

（２） 相対湿度

図 12　各測定点における日平均温湿度

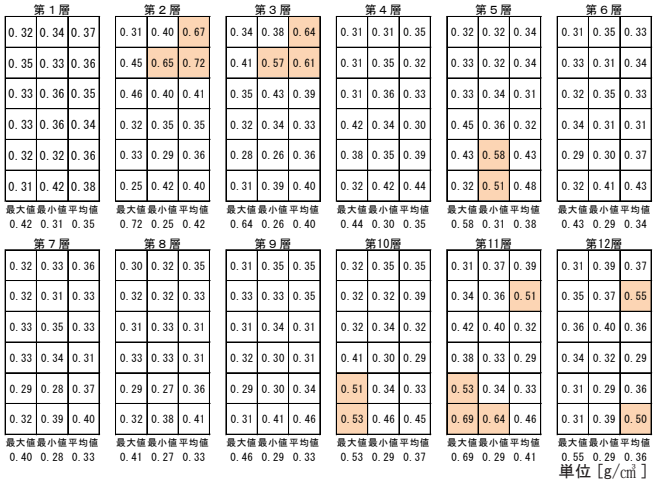


図 10　木材の全乾比重分布
※色がついている試験体は節の部分を表す

１日当たりの水分放散量を比較すると、気流が当たる位置と気流が当たらない位置ともに最初の三日間(7/21-7/23）が極端に多く、その後は最初の三日間より水分放散量の値は少ないことから、木材乾燥において気流の影響は木材乾燥開始当初の三日間では有効であるが、その後の期間では気流の影響は小さいと考えられる。

既往の研究[文2)]の夏期における太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設での木材乾燥実験では「木材乾燥において気流の影響は木材乾燥開始当初の１週間では有効であるが、その後の期間では気流の影響は小さいと考えられる」と結論付けているが、エアコンを用いた木材乾燥実験では木材乾燥開始当初の三日間において有効であることが分かる。

5　結論

5.1 全国 842 都市におけるパッシブソーラ型乾燥施設内温湿度の数値解析

①積算乾球温度は１年を通して比較的高緯度の地域及び高地や山間部では小さく、比較的低緯度の地域では大きい。又、夏季では比較的低緯度な海沿いの地域で大きい。

②積算乾湿球温度差は１年を通して高地や山間部では小さい傾向がある。春季・秋季では比較的高緯度の地域では小さく、比較的低緯度の地域では大きい傾向がある。

③積算乾球温度は夏季では殆どの地域でＡ棟の実測値である 58,000℃・h を上回るため、太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の利用は可能と考えられる。

5.2 パッシブソーラ型乾燥施設における主な杉の産地の数値解析

①主な日本産杉の主要産地は秋田県、静岡県、三重県、新潟県、奈良県、鳥取県、愛媛県、大分県、宮崎県、鹿児島県である。

②日本産杉の主要産地の積算乾球温度は、全ての地域で夏季・秋季・春季・冬季の順に大きく、夏季の主要産地における積算乾球温度は 60,000℃・ｈの範囲に入る。このため全国主要産地において夏季に太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設の利用は可能と考えられる。

5.3 全国 842 都市における大型ガラス張り倉庫における木材乾燥の数値解析

①積算乾球温度は１年を通して札幌・青森等の比較的高緯度の地域及び軽井沢等の高地や阿蘇山等の山間部は小さく、宮崎・鹿児島等の比較的低緯度の地域では大きい傾向がある。

②解析結果は太陽熱利用パッシブ型木材乾燥施設と同様の傾向があり、積算乾球温度の年間 126,926℃・ｈである。この値は、既往の研究[文2)]における木材乾燥実験において木材が十分乾燥するＡ棟の積算乾球温度の約 58,000℃・h を上回るため、大型ガラス張り倉庫を木材乾燥施設として使用することが可能と考えられる。

本論文に関連する追加資料

1 越後杉の全乾比重分布に関する実験

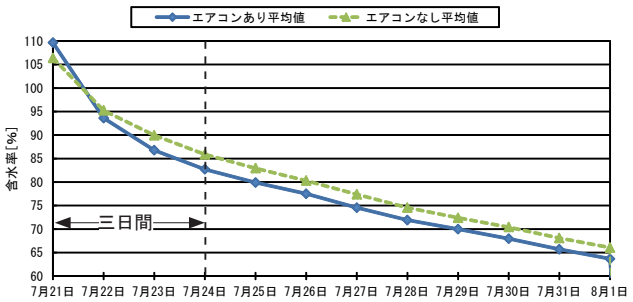
①木材の全乾比重は試験体を採取した位置によって異なり、節などの密度が高い部分は極端に大きくなる。

②試験体の総数が少ない場合は節の影響が大きく、算出した全乾比重が実際の全乾比重よりも大きくなる可能性があるため、全乾比重の算出には節を除いた試験体を用いる方が適切であると考えられる。

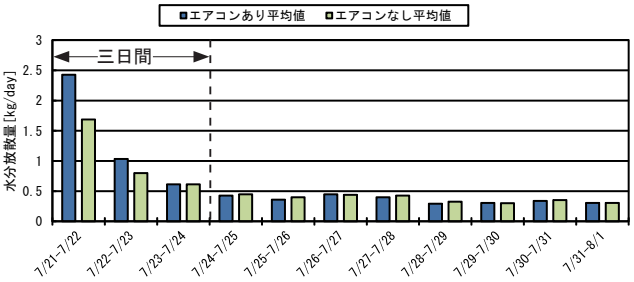
2 エアコンを用いた木材乾燥実験

①エアコンありの方がエアコンなしの場合のより早く乾燥し、含水率は 109.66%から 63.67%と 45.99 ポイント減少する。

②１日当たりの水分放散量を比較すると、気流が当たる位置と気流が当たらない位置とも最初の三日間(7/21-7/23 が極端に多く、その後は最初の三日間より水分放散量の値は少ないことから、木材乾燥において気流の影響は木材乾燥開始当初の三日間では有効であるか､その後の期間では気流の影響は小さいと考えられる。



（１）含水率



（２）水分放散量

図 13　木材の実測平均値

※１　積算乾球温度：１時間毎の温度の積算値。

※２　積算乾湿球温度差：１時間毎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。

※３　全乾法: $U=\frac{W_u-W_0}{W_0}\times 100$ [%]　U:含水率 [%]　W_u:木材重量 [g]　W_0:全乾重量 [g]
$W_0=V_0\gamma_0$ [g]　W_0:全乾重量 [g]　V_0:全乾容積 [cm³]　γ_0:杉の全乾比重 [g/cm³]

文１）赤林伸一・坂口淳・重川隆廣「木材の地産地消に関する研究その１～２」日本建築学会大会学術講演梗概集 2009 年

文２）赤林伸一・坂口淳・重川隆廣・文欣潔・遠藤悠治「木材の地産地消に関する研究その９～11」建築学会大会学術講演梗概集 2012 年