

完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置の研究開発(その2)

—体積集熱のもとでの装置性能の熱的評価—

Development on a Fully Passive Solar Lumber Drying Apparatus (Part 2)

—Thermal evaluation of capability of the apparatus based on volumetric solar heat collection—

馬場 弘^{*1}

Hiromu BABA

金山公夫^{*2}

Kimio KANAYAMA

古賀信也^{**}

Shinya KOGA

菅原智美^{*3}

Tomoyoshi SUGAWARA

Abstract

In this development, first, solar radiation incidence on various tilt surfaces was seriously discussed to calculate the solar radiation incident around a transparent hot house. Second, according to a new concept of "volumetric solar heat collection", a solar radiation incident upon the house and solar heat collected within the house were calculated supposing a fully passive solar lumber drying apparatus "East-West type" and "South-North type" as the real model. Third, a proving test on the fully passive solar lumber drying apparatus was carried out five times from autumn 2006 to early summer 2007, by applying this method of volumetric solar heat collection, the data obtained from which were processed numerically and the operation performance of the apparatus was analyzed. Consequently, on the base of solar radiation incidence on the floor area, the efficiency of volumetric solar heat collection for both two models; "East-West and South-North", attained nearly 150% through a year which was outstandingly larger than that of an active solar air collector, so that the operation performance of the solar lumber drying apparatus was evaluated to be excessively good.

キーワード：太陽熱、透明温室、体積入射日射量、体積集熱量、体積集熱効率、太陽熱木材乾燥

Key Words: Solar thermal, Transparent hot house, Volumetric solar radiation incidence, Volumetric solar heat collected, Efficiency of volumetric solar heat collection, Solar lumber drying

1. まえがき

地球温暖化の抑制のためには太陽熱など再生可能な新エネルギーの積極的な導入促進が不可欠であり、そのための新技術開発は喫緊の課題である。筆者ら^{1)~5)}は農業用ビニールハウスを改良した透明温室で太陽熱のアクティブおよびパッシブ集熱によって室内空気を温め、内部に木材を装填して乾燥させる「アクティブ・パッシブ太陽熱木材乾燥装置」(第1世代)³⁾を考案し、平成17年度から実証試験を行ってきた。今回はこの概念をさらに発展させ、アクティブ集熱を排して内側に空間をおいて炭素繊維シートを貼付した透明温室によるパッシブ集熱に加えて、木材の乾燥によって生じた湿り空気を外付けの断熱円筒のドラフトを利用

してパッシブ排気するところの動力を要しない「完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置」(第2世代)^{4), 5)}を開発し、計算と実験を繰り返してその性能を明らかにしてきた。

これまで透明温室への日射の入熱及び集熱は予想以上に大きいことが経験から分かっていた。しかし、透明温室の入射日射の集熱量は実測できないので、計算によって求めなければならないが、その算出法が明確にされていなかった。

そこで本論文では、まず透明温室へ立体的に入射する日射について「体積入射」の概念を導入し、それにもとづく体積集熱量の正規の計算法について概要と結果を示した。次に日射量データベースから体積入射量を求めて透明温室への体積集熱量を予測した。3番目に「完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置」の実施モデルに対する実証試験の際の日射量測定値にこの手法を適用して解析し、算出された体積集熱量を拠り所にして本装置の熱的性能を評価、検討した。

なお、実施サイトは北海道十勝管内の足寄町芽登市街(43°14.5'N, 143°33.5'E)である。

2. 体積集熱量の計算法^{6)~13)}

*1 元北見工業大学名誉

(〒090-0804 北海道北見市桜町6丁目42番地)

E-mail: Hiromu.Baba@mb6.seikyoku.ne.jp

*1~*3 マルショウ技研株式会社

(〒089-3705 足寄町西町6丁目1番地3)

E-mail: kmkana@bridge.ocn.ne.jp

** 九州大学農学部附属演習林北海道演習林・林長 准教授

(〒089-3705 北海道足寄郡足寄町北5条1丁目85)

E-mail: kogafor@mbox.nc.kyushu-u.ac.jp

(原稿受付：2008年4月8日)

透明温室に入射する体積入射日射量は、面 A の傾斜角を θ° 、方位角を α° で表すと、ハウスを構成する各面への入射する日射量を総和して式(1)で求められる。

$$I(H)_{sol} = A_{rf} I(\theta_{rf}, \alpha_{rf}) + A_{we} I(90, -90) + A_{ws} I(90, 0) \\ + A_{ww} I(90, 90) + A_{wn} I(90, -180) \quad (1)$$

ここで、式(1)において、右辺第1項は屋根面、第2項は東壁面、第3項は南壁面、第4項は西壁面及び第5項は北壁面の傾斜面日射量である。

ただし、 $I(H)_{sol}$ ：体積入射日射量 kJ/h 、 $I(\theta, \alpha)$ ：設置角 (θ, α) の傾斜面日射量 $\text{kJ/m}^2\text{h}$ を示す。ここで、 θ, α ：受光面の傾斜角及び方位角 $^\circ$ で、また、 A_{rf} ：屋根面積 m^2 、 A_{we} ：東壁面積 m^2 、 A_{ws} ：南壁面積 m^2 、 A_{ww} ：西壁面積 m^2 、 A_{wn} ：北壁面積 m^2 である。

いま、任意の設置角 (θ, α) の平面に入射する傾斜面日射量 $I(\theta, \alpha)$ は、式(3)～(5)を関連させて式(2)によって求められる⁶⁾。

$$I(\theta, \alpha) = I_{ND} \cos i + I_{SC} \frac{(1 + \cos \theta)}{2} + \rho_g I_{HO} \frac{(1 - \cos \theta)}{2} \quad (2)$$

$$\cos i = \sin h \cos \theta + \sin \theta \cos h \cos(A - \alpha) \quad (3)$$

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \quad (4)$$

$$\sin A = \cos \theta \sin t / \cos h \quad (5)$$

ここで、 I_{ND} ：法線面直達日射量 $\text{kJ/m}^2\text{h}$ 、 I_{SC} ：散乱日射量 $\text{kJ/m}^2\text{h}$ 、 I_{HO} ：水平面全日射量 $\text{kJ/m}^2\text{h}$ 、 ρ_g ：地面のアルベド、 i ：傾斜面の法線と入射光のなす角 $^\circ$ 、 h ：太陽高度 $^\circ$ 、 A ：太陽の方位角 $^\circ$ 、 t ：時角 $^\circ$ 、 ϕ ：地点の緯度 $^\circ$ 、 δ ：太陽の赤緯 $^\circ$ である。

式(2)の右辺第1項は直達日射成分、第2項は散乱日射成分及び第3項は地面からの反射日射成分である。

ここで、東壁を例に1日の入射日射量の計算式を示す。

$$\int_{sr}^{ss} I(90, -90) dt = \int_{t1(we)}^{t2(we)} I_{ND} \cos i dt + \int_{sr}^{ss} I_{SC} \frac{(1 + \cos 90)}{2} dt \\ + \int_{sr}^{ss} \rho_g I_{HO} \frac{(1 + \cos 90)}{2} dt \\ = \int_{t1(we)}^{t2(we)} \sin h dt + \frac{1}{2} \int_{sr}^{ss} I_{SC} dt + \frac{1}{2} \rho_g \int_{sr}^{ss} I_{HO} dt \quad (6)$$

式(6)の各項の積分限界を示す記号のうち $t1(we)$ は東壁に

日射が当たり始める時刻、 $t2(we)$ は東壁の日射が陰りはじめる時刻を示す⁸⁾。散乱日射及び反射日射の成分に対する時間積分限界は全ての面に対して日の出に時刻 sr から日没の時刻 ss である。

木材乾燥試験の期間中における体積入射の総日射量 $I(Q)_{Total}$ は式(2)を日の出の時刻(sr)から日没時刻(ss)までを積分し、これを式(1)に代入し日数分加え合わせることで求められる。

$$I(Q)_{Total} = \sum_{day=1}^n \int_{sr}^{ss} I(H)_{sol} dt \\ = \sum_{day=1}^n \left[A_{rf} \int_{t1(rf)}^{t2(rf)} I(\theta, \alpha) dt + A_{we} \int_{t1(we)}^{t2(we)} I(90, -90) dt \right. \\ + A_{ws} \int_{t1(ws)}^{t2(ws)} I(90, 0) dt + A_{ww} \int_{t1(ww)}^{t2(ww)} I(90, 90) dt \\ \left. + A_{wn} \int_{t1(wn)}^{t2(wn)} I(90, -180) dt \right] \quad (7)$$

式(7)の各項の積分限界を示す記号において、右辺第1項の $t1(we)$ は東壁面に日射が当たり始める時刻、 $t2(we)$ は東壁面が陰りはじめる時刻を示し、以下同様である。

また、式(2)の第2項及び第3項についても、対象日の日の出時刻から日没時刻までであるが、煩雑さを避けるため記述を省略してある。

2.1 壁面日射量の算出

まず、本研究開発の主題である透明温室によるパッシブ太陽熱利用においては、屋根面への入射のみでなく壁面への入射を利用するところに特徴がある。前者に関しては傾斜面日射量として既に多くの論文や纏まった資料が報告されているので、ここでは各方位の垂直壁面への入射日射量(直達日射量)を算出してその効果を比較検討する。その際、各垂直壁面に入射する日射に対するその地点の緯度、経度及び日時の影響は、各面に入射する直達日射成分の入射角

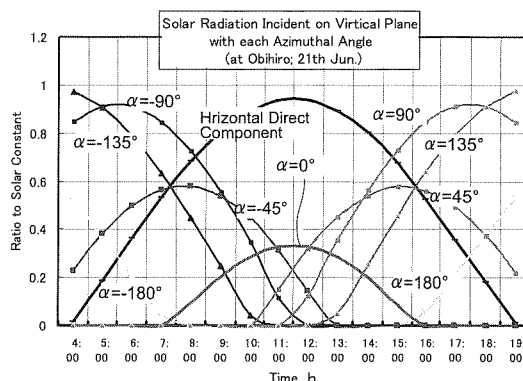


Fig. 1 Solar radiation incident on vertical plane($\theta=90^\circ$) with each azimuthal angle($\alpha=0^\circ \sim \pm 180^\circ$)

を式(3)から計算し、これを時間積分して求める。これに太陽定数を掛けることによって日射量が概算できる

図1は帯広(42°55'N, 143°13'E)の各方位の垂直壁面に入射する直達日射量の計算結果である。北壁 $\alpha=-180^\circ$ 、東北壁 $\alpha=-135^\circ$ 、東壁 $\alpha=-90^\circ$ 、南東壁 $\alpha=-45^\circ$ 、南壁 $\alpha=0^\circ$ 、南西壁 $\alpha=45^\circ$ 、西壁 $\alpha=90^\circ$ 、北西壁 $\alpha=135^\circ$ の8方位に対する入射日射量割合を示す。日付は一年中で一番太陽高度が高い6月21日(夏至)である。

日の出は3時57分、日没は18時53分、1日の積算日射量は8.62時間である。東西両壁面は太陽の南中時刻を中心に午前と午後で対称形を示し、午前中(東壁)が4.87時間、午後(西壁)も同じで計9.74時間となる。南壁は1.98時間、合計13.35時間で、屋根面を平面と仮定すると1m³の立方体に入射する日射量は21.97時間となり、水平面積算日射量の2.55倍となる。

注意すべきは北壁面($\alpha=-180^\circ$)にも入射日射があり、日の出の時刻に最大日射量となり、7時には陰ってしまうが、午後15時50分から日没まで日射が入射する。夏至においては1日の入射日射量は1.63時間で全天日射量の19%である。しかし、年間を通じてそれ以外の期間の北壁入射は減少し、冬至を挟んだ秋分の日から春分の日までは散乱日射のみで直達日射の入射が全くなり、損失の方が大きくなる。これが設計において北壁面は透明化せず不透明断熱壁にした根拠である。

なお、ここで言う1時間は太陽高度の時間積分値で、大気中の減衰率を無視すると、時間数に太陽定数(1.382kW/m²)を掛けることにより日射量に換算できる。

実際に設計、施工され、実験に供された『完全パッシブ太陽熱利用乾燥装置』『東西型』及び『南北型』の詳細は前報^{4),5)}に示す通りである。

2.2 実施モデルにおける日射量算出

図2は計算に用いられた『完全パッシブ太陽熱利用乾燥装置』『東西型』及び『南北型』の単純化した計算モデルを示す。

図3は日射量統計値から『東西型』及び『南北型』ハウスの各壁面に各月ごとに入射する傾斜面日射量(MJ/d)を事前に求めた予測値である。日射量統計値には時間当たり日射量(kW/m²)が示される日射量データベース⁹⁾から引用し、場所は実施サイトとは約40km離れているが、気象官署のある帯広の値である。

東西型装置の体積入射日射量 $I(Q)_{vs}$ が最大となるのは3月の904.7MJ/dで、これに透過吸収係数(τ, α)=0.6を掛けることにより体積集熱

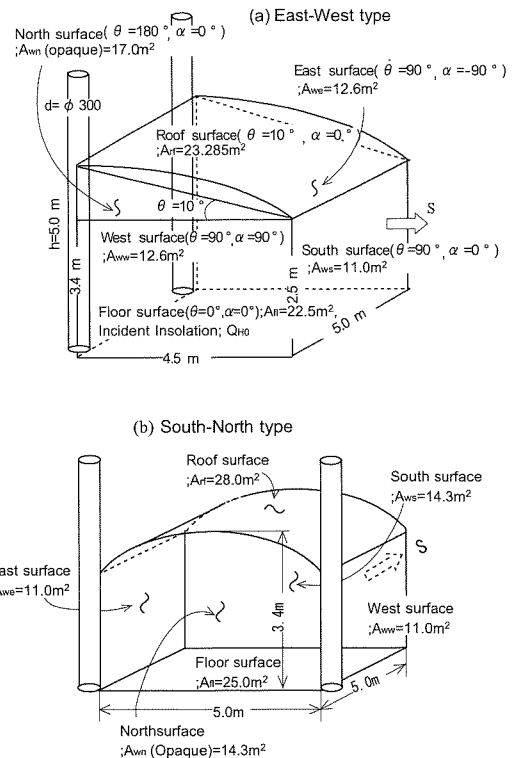


Fig.2 Simple model of real lumber drying houses

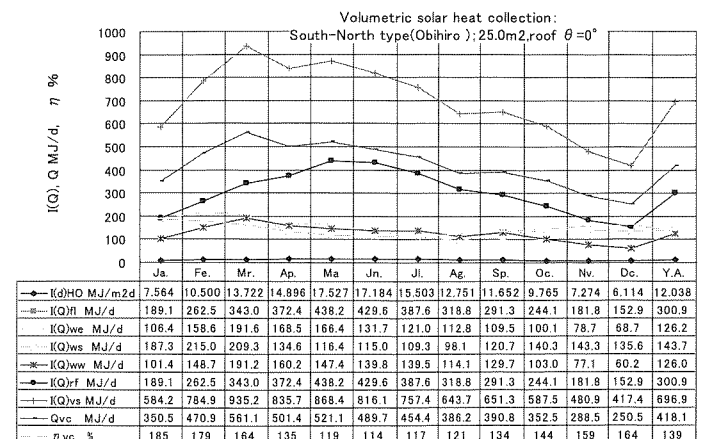
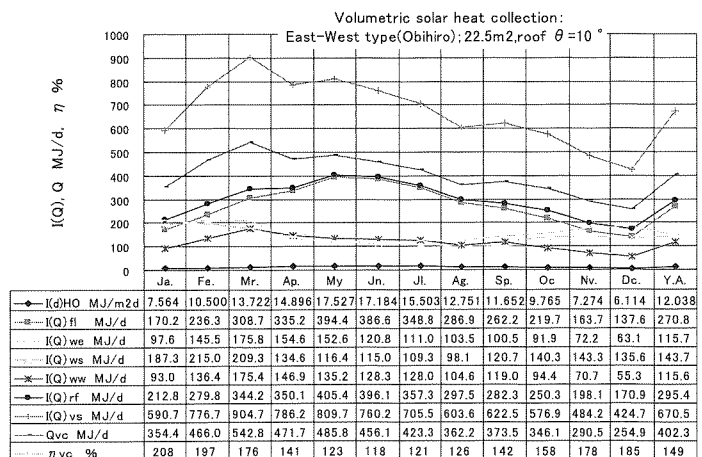


Fig.3 Monthly values predicted on the Q_{vc} and η_{vc}

量 $Q_{vc}=542.8\text{MJ/d}$ と求まり、これは床面に入射する日射量 308.7MJ/d の 1.76 倍になる。倍率が最大となるのは 1 月で 2.08 倍、最小は 6 月で 1.18 倍、年平均値は 1.49 倍となる。すなわち、これらの倍率は体積集熱効率 η_{vc} を示し、それぞれ床面日射量基準で 176%、208%、118%及び 149%である(前報⁴⁾参照)。

南北型の結果は各月の傾向は東西型と類似するが、東西型と比較して体積集熱量はわずかに大きく、逆に体積集熱効率は東西型の年平均値が 149%に対して、南北型は 139%とやや小さい。このような両者の差は床面積が東西型は 22.5m^2 であるのに対して南北型は 25.0m^2 と大きい、東西型は屋根面が南に 10° 傾斜していることに起因する。

3. 実験結果及び考察^{4), 9), 14), 15)}

『完全パッシブ型太陽熱利用木材乾燥装置』「東西型」及び「南北型」による木材乾燥実験^{14), 15)}は第 1 回目を平成 18 年 10 月 31 日～11 月 15 日、第 2 回目を同年 12 月 13 日～28 日、以下、平成 19 年 2 月 13 日～3 月 5 日、同年 5 月 8 日～22 日、同年 8 月 16 日～31 日の 5 回実施された。このうち特に第 5 回目には夏期の気象条件を考慮して、補助熱源を用いず、太陽熱のみによる実験が行われた。供試製材はカラマツの 2×4 材で $8 \sim 10\text{m}^3$ である。

図 4～図 7 は、現地でリアルタイムで観測している

水平面全天日射量のデータから、観測データを統計処理して求められた著者らの直散分離の関係式⁸⁾を適用して乾燥試験中のハウス各面への入射日射量、ハウスへの体積入射日射量を時間ごとに求め、毎日の変化を一日ごとに算出したものである。

図 4 は第 2 回目の木材乾燥実験で、平成 18 年 12 月 13 日～28 日に行われた正味 14 日間のうち 13 日間(図 4 では 27, 28 日は省略)の各面への入射日射量、体積入射日射量及び体積集熱量の日々の時間変化を示す。体積入射日射量は曇天日の 17 日を除いてピーク値は $100 \sim 120\text{MJ/h}$ を示すが、冬至を挟んだ期間は日照時間は 5～6 時間と短かく 1 日当たりの入射日射量は少ない。これによりハウスの各構成面に

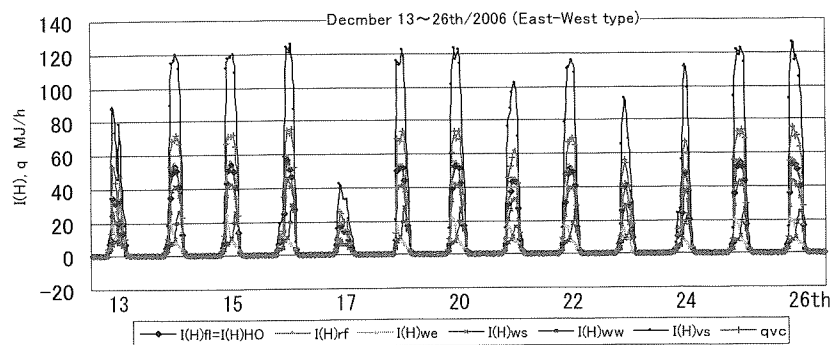


Fig.4 Daily change of S. R. incidence $I(H)$ on each surface & $I(H)vs$, and volumetric solar heat collected qvc in the winter sotoce (lost data on 18th)

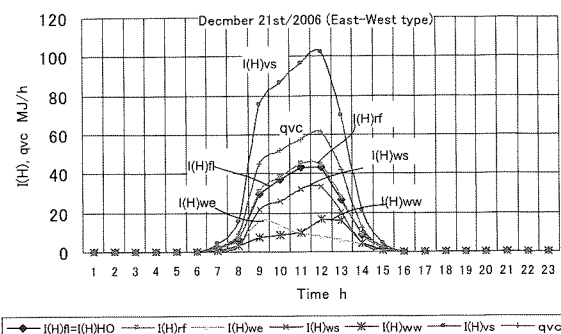


Fig.5 Hourly change of solar radiation incidence $I(H)$ on each surface & $I(H)vs$, and volumetric solar heat collected qvc when just winter solstice

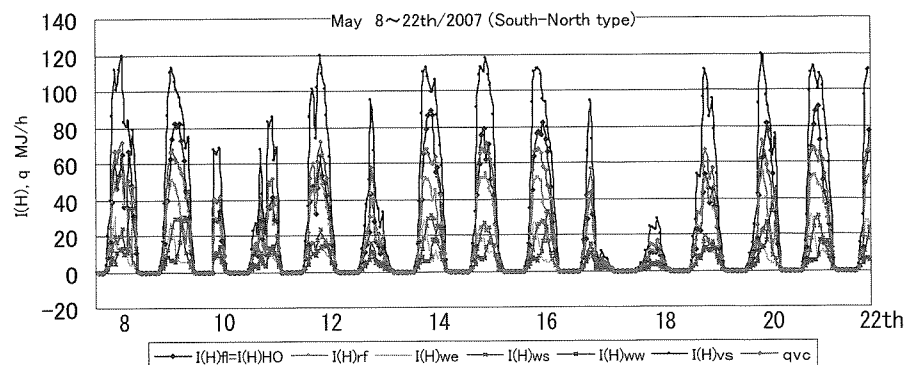


Fig.6 Daily change of S. R. incidence $I(H)$ on each surface & $I(H)vs$, and volumetric solar heat collected qvc in the early summer

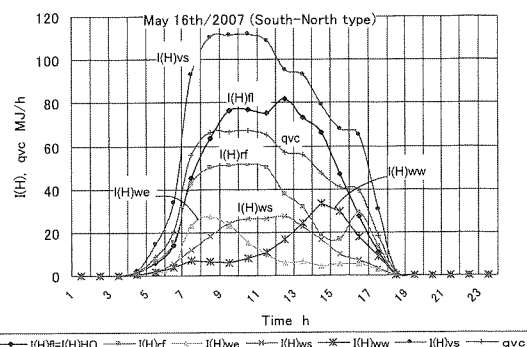


Fig.7 Hourly change of solar radiation incidence $I(H)$ on each surface & $I(H)vs$, and volumetric solar heat collected qvc on a day of the early summer

入る日射量、ハウス全体に入る体積入射日射量及び体積集熱量の日変化が見てとれる。

図5は上記期間中の晴天日の例として東西型装置の12月21日(冬至)の結果を取り出して時刻軸を拡大して示す。屋根面と南壁面は日中大きな一定値を示し、東壁面と西壁面はそれぞれ午前と午後に入射が大きくなる。この結果、午前中に薄雲による陰りで体積入射日射量及び体積集熱量はやや歪んだ形状になるが、これら各面への入射日射量、体積入射日射量及び体積集熱量の時間変化が良くわかる。

図6は初夏の例として南北型の5月8～22日の結果を示す。初夏の季節は日照時間が10～12時間と長く、1日当たりの日射量は大きい、時間当たりピークの入射日射量は12月の値よりもむしろやや小さい。これは大気中の水蒸気の影響である。

図7はこの期間中の晴天日の例として5月16日を選定し時刻軸を拡大して示す。この日は午前中快晴であったが、午後から少し雲が出て各入射日射量はその影響を受けていることがわかる。床面の日射量は南北型の場合、屋根面勾配を 0° としてあり全天日射量と同じである。これより各壁面の入射日射量、体積入射量及び体積集熱量の時刻変化が良くわかる。

図8は実施された5回の乾燥試験における全入熱量について東西型と南北型を比較して示す。第1回目の供給熱量は東西型が19GJ、南北型が16GJで東西型の供給熱量が3GJほど多い。この原因は装置の形状により東西型の日射入熱量が南北型より多いことと、東西型がボイラに近く、ボイラー熱量が南北型より多くなったことに起因する。第2回目と第3回目の実験は厳寒期で、東西型が23.1～24.4GJ、南北型が21GJと、ともに供給熱量は多い。

第4回目の5月になると外気温も上昇して供給熱量は低下し、東西型は16.4GJ、南北型は15.1GJとなる。第5回目の太陽熱のみの場合、供給熱量は約7.6GJで両者ともほぼ同じである。これら5回の試験における全入熱量の平均は約16.8GJであった。

なお、室内空気の循環ファン4個、ファンコン内ファン4個、及び温水ポンプ2個の消費電力は合計400Wで、その熱当量は試験期間14日間で500MJで、全供給熱量に占める割合は約2～3%にすぎない。

これら図8から図15に至る乾燥試験に関する解析法及び結果については文献¹⁶⁾に詳しく述べられており、ここでは長文になるので割愛する。

図9は各回の全入熱量のうちボイラによる補助熱量(ファンコン熱量+床暖熱量)の値を示し、季節に応じた気温の変化に反比例してその量は増減している。特に第5回目は夏の太陽熱のみによる試験で、補助熱量は当然ゼロを示している。やはり東西型が南北型より大きい。

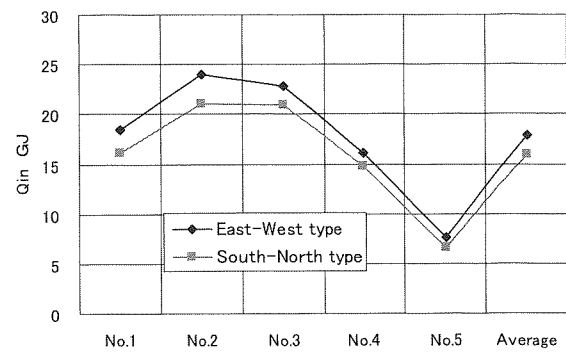


Fig.8 Total heat input Q_{in} on the five solar lumber drying tests

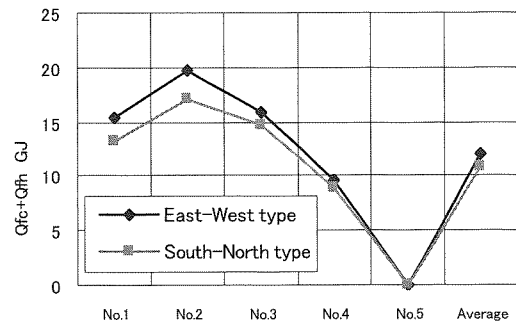


Fig.9 Auxiliary heat supply during fourteen days on the five solar lumber drying tests

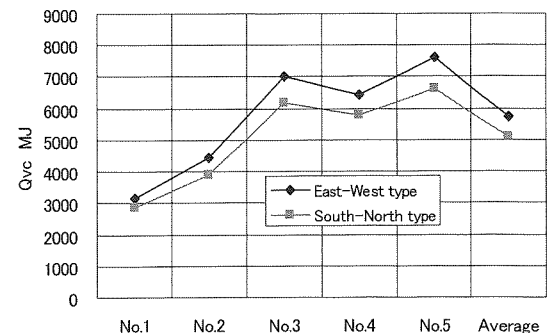


Fig.10 Volumetric solar heat collected Q_{vc} on the five solar lumber drying tests

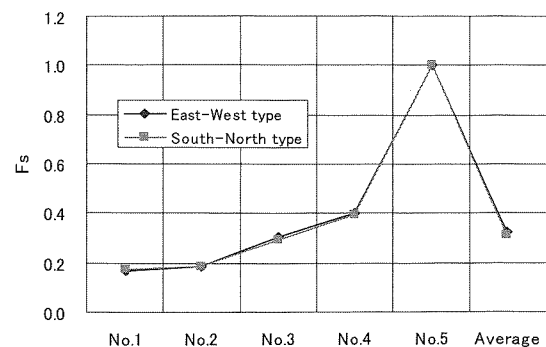


Fig.11 Solar fraction F_s of volumetric solar heat collected on the five solar lumber drying tests

図 10 は各回の太陽熱の体積集熱量の値を示し、全体に東西型が南北型より大きいのは前述したようにハウス形状によると思われる。第 1 回目の太陽熱供給熱量が 2950MJ ～ 3350MJ と最も小さい。これは本来最小になるべき冬至を挟んだ第 2 回目の実験値より小さいが、11月の実験期間中の天候が悪かったことに起因する。5 回の平均で東西型が 5880MJ、南北型が 5050MJ 程度で、ともに体積集熱量が大きな値を示している。

図 11 は全供給熱量に対する太陽熱の供給割合、すなわち太陽熱依存率を示す。補助熱量が南北型が東西型より小さいため両者の太陽熱依存率はほぼ一致する。第 1 回目と第 2 回目の太陽熱依存率は 20 % 弱であるが、2 回目、3 回目と太陽熱依存率は次第に増加し、第 4 回目には 40 % に達する。第 5 回目の太陽熱のみの実験結果では当然比率は 100 % となる。このように割合にすると東西型と南北型は一致し、5 回の平均で 30 % 強が太陽熱で乾燥が行われていることがわかった。

図 12 は全放熱量に占める木材水分の蒸発熱量割合を示す。第 1 回目の東西型が 0.13 で南北型の 0.12 よりやや大きいのを除き、補助熱量が少ない南北型が東西型をつねに上回っている。第 5 回目は太陽熱のみで東西型が 0.3 に対して南北型が 0.4 といずれも最大値を示し、5 回の平均では東西型が 0.17、南北型が 0.20 を示し、すなわち全供給熱量の約 2 割弱が水分蒸発に使われていることがわかる。南北型が蒸発熱量割合が大きいのはハウスの容積が大きいのと、乾燥に作用する室内の気流の方向が半日ごとに逆転することにより、効果的に乾燥が促進されたためと思われる。

図 13 は 5 回の試験全体に対する各種供給熱量と全入熱量及び各種損失熱量と全出熱量を示し、また、その中で各回の平均の蒸発水分量は 1000kg 強であることがわかる。

図 14 は各種入熱量及び損失熱量の全出熱量に対する割合を示している。全入熱量と全出熱量の比 $R=1.0$ でエネルギー解析のバランスはとれていることを示し、特徴的なのは排気損失熱量割合は 5 回の平均で全出熱量の約 75% を占めることである。太陽熱のみの第 5 回目では当然太陽熱依存率は 100 % で、補助熱依存率は 0% を示している。

最後に、図 15 は体積集熱効率に関して日射量データベースからの年間の予測値と、実際の乾燥試験における日射量測定値から、前述第 2 章の処理で得れた実測値とを比較して示している。東西型においては 12 月を除いて 4 回の試験ともに予測値と実測値はほぼ一致し、南北型においては実測値がやや低い値であるが、傾向は一致している。この結果から本研究における重要な特性として提案された体積集熱効率に関して、日射量測定値からの計算値はデータベースからの予測値とかなりよく一致していることがわかった。

このことにより透明温室の日射集熱に関する性能評価を

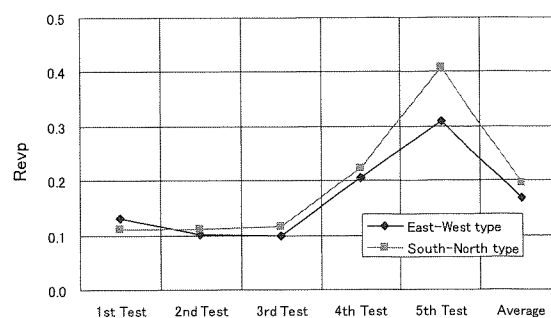


Fig.12 Rate of evaporation heat on the five solar lumber drying tests

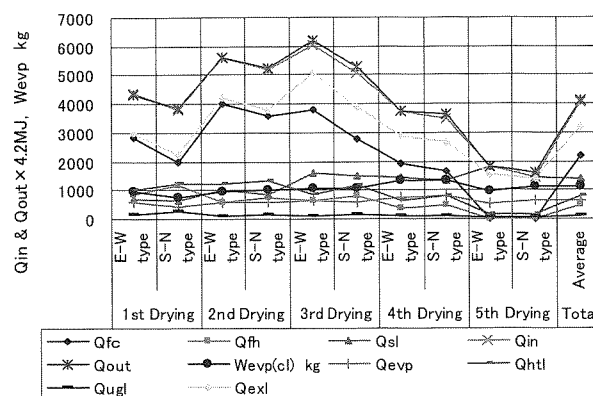


Fig.13 Several sorts of heat input and heat output on the five solar lumber drying tests

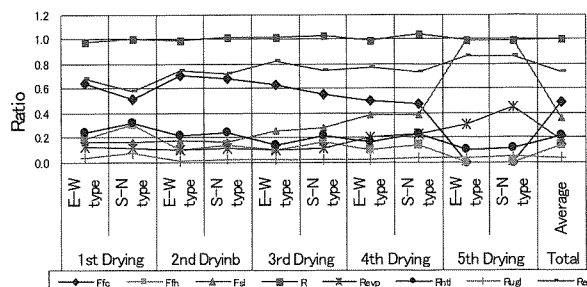


Fig.14 Heat fractions of heat input, $R=(Q_{in}/Q_{out})$, rates of evaporation heat & heat loss

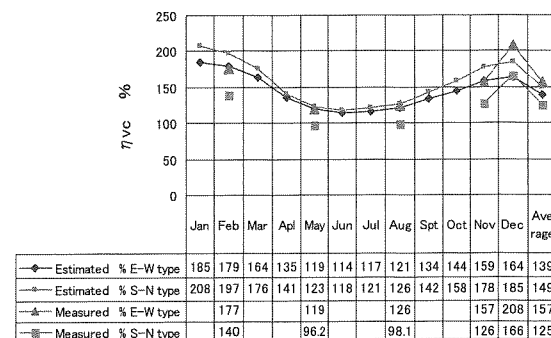


Fig.15 Comparison between calculated and measured on the efficiency of volumetric solar heat collection η_{vc}

体積集熱量及び体積集熱効率の概念を適用して説明できることが実証されたものと考えられる。

4. 結論

以上述べたように、本研究開発の主題である「完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置」をモデル化して、三重透明フィルムとCFシートからなるコンポジット面で覆われた不透明温室に置き換えて扱うことにより、透明温室に入射した体積入射日射量から体積集熱量を算出する手法を用いて、予想された結果を提示することができた。

次に実際に開発された完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置に、この方法を適用して算出された体積集熱量を用いて、乾燥試験の結果を解析、整理し、乾燥装置の性能値の検討及び評価を行った。性能値のうち特に体積集熱効率は予想したように大きな値で、床面全天日射量基準の体積集熱効率は年平均で 140 ~ 150%程度に達することが明らかになった。

このように、前報⁴⁾に提案した「体積集熱」のメカニズムを導入することによって初めて完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置「東西型」及び「南北型」両装置の熱的解析が可能になり、その性能値を正確に把握することができた。

都合 5 回行われた実証試験は予想以上に順調に遂行されその結果、東西型と南北型の装置性能には大きな相違は見られず、東西型は集熱性能においてやや優れているが、エネルギー収支の点からは床面積と室内容積が大きい南北型が若干良い数値が得られた。

なお重要な点は、本装置は太陽熱のみでも乾燥が可能で、これによる脱石油効果及び CO₂ 削減効果は大きいと言わなければならない。

今後さらに装置の改良による性能アップと簡略化・省エネ化によるコスト低減の力を入れ、実用化と普及のための北国仕様のソフト技術に仕上げられることを期待する。

謝辞；本研究開発は、参加機関であるマルショウ技研株式会社及びとちかちペレット協同組合の各スタッフの協力と、特に木材乾燥に関しては九州大学農学部附属演習林北海道演習林の総力による協力のもとに行われたものであり、また、実験計測、装置の制御及びデータの遠隔送信は(株)メテオ電子の独自技術によるものであることを付記して、ここにご協力頂いた各機関の関係者に深く感謝致します。

なお、本研究は(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による『太陽エネルギー新利用システム技術研究開発』事業の「太陽熱木質系材料乾燥装置の研究開発」(平成 17 年度～ 19 年度)の一部で、本提案を採択くださった NEDO のご配慮に厚く御礼致します。

主な記号説明

◇日射量に関して

I : 単位面積、単位時間当たりの日射量 $\text{kW/m}^2, \text{MJ/m}^2\text{h}$

$I(d)$: 単位面積、1 日当たり日射量 $\text{kWh/m}^2\text{d}, \text{MJ/m}^2\text{d}$

$I(H)$: 単位時間当たり日射量 $\text{kW}, \text{MJ/h}$

$I(Q)$: 日射量 MJ 、または期間日射量 MJ/期間

A : 太陽方位角 $^\circ$ 、または入射面 m^2

θ : 傾斜角 $^\circ$

α : 方位角 $^\circ$

i : 日射の入射角 $^\circ$

h : 太陽高度 $^\circ$

t : 時角 $^\circ$

ϕ : 地点の緯度 $^\circ$

δ : 太陽の赤緯 $^\circ$

ρ : 地面のアルベド —

添え字または()書き

ND : 直達日射量

SC : 散乱日射量

HO : 水平面全天日射量

(θ, α) : θ 、 α の組み合わせ

$Tsol$: 総和された傾斜面日射量

sol : 傾斜面日射量

rf : 屋根面

we : 東壁面

ws : 南壁面

ww : 西壁面

wn : 北壁面

fl : 床面

◇集熱量及び各種熱量

q : 時間当たり集熱量 MJ/h

Q : 集熱量 MJ 、または MJ/期間

(τ, α) : 透過吸収係数(=0.6)

η : 集熱効率 —

F : 依存率 —

R : 割合 —

W : 蒸発水量 kg

添え字

vc : 体積集熱

in : 全入熱量

out : 全出熱量

fc : ファンコン

fh : 床暖

sl : 日射

evp : 蒸発

htl : 伝熱損失

ugl：地中損失

exl：換気損失

参考文献

- 1) 金山公夫、馬場弘、菅原智美、太陽熱のパッシブ利用による木材乾燥技術、太陽/風力エネルギー講演論文集、(2005-10)、355-358.
- 2) 金山公夫、馬場弘、瀬戸英彦、菅原智美、新規概念に則った太陽熱木材乾燥技術の概観、日本機械学会北海道支部 45 回講演会論文集、2006-9、155-156.
- 3) K. Kanayama, H. Baba, S. Koga, H. Seto and T. Sugawara, Developing Research on a Active-Passive type Solar Lumber Drying House, Renewable Energy 2006 Proceedings, O-T-2-2,(Oct. 2006),509-512.
- 4) 金山公夫、馬場弘、古賀信也、菅原智美、完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置の研究開発(その 1)―新しい概念の創出とソフト技術の構築―、太陽エネルギー、日本太陽エネルギー学会、Vol.34,No.4(通算 186 号)、(2008-7)、39-47.
- 5) 馬場弘、古賀信也、瀬戸英彦、金山公夫、菅原智美、完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置の研究開発、17 回環境工学総合シンポジウム講演論文集、(2007-7)、312-315.
- 6) B.Y.Liu and R.C.Jordan, ASHRAE J.,(1961-10),3-10
- 7) J.A.Duffie & W.A.Beckman, Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons(1980),86.
- 8) 馬場弘、金山公夫、日射量の測定および算定に関する研究(第 2 報)、機論、B、(昭 60-7) 2451-2456.
- 9) (財)気象協会 CD-ROM;METPV-2、NEDO 委託研究太陽光発電技術開発研究(平成 13～14 年度)要約.
- 10) 馬場弘、金山公夫、1 日当たりの全天日射量と傾斜面日射量の関係、太陽/風力エネルギー講演論文集、(2001-11)、431-434.
- 11) 馬場弘、金山公夫、太陽エネルギー利用のための日射特性の検討―全天日射量と傾斜面日射量の関係―、15 回環境工学総合シンポジウム講演論文集、(2005-7)、335-338.
- 12) 馬場弘、古賀信也、瀬戸英彦、金山公夫、菅原智美、完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置の研究開発―体積集熱量の計算とエネルギー収支の実測―、太陽/風力エネルギー講演論文集、(2007-10)、189-192.
- 13) 馬場弘、古賀信也、金山公夫、瀬戸英彦、菅原智美、透明温室における太陽熱の体積集熱の算出、熱工学コンファレンス 2007 講演論文集、(2007-11)、323-324.
- 14) 古賀信也、大崎繁、馬淵哲也、扇大輔、長慶一郎、山内康平、馬場弘、瀬戸英彦、金山公夫、菅原智美、完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置に研究開発―冬期から初夏にかけての乾燥試験―、太陽/風力エネルギー講演論文集(2007)、(2007-10)、185-188.
- 15) 古賀信也、金山公夫、馬場弘、瀬戸英彦、菅原智美、完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置に研究開発(第 2 報)―乾燥試験結果に基づく木材の乾燥具合と材質―、23 回寒地技術シンポジウム 2007、寒地技術論文・報告集 Vol.23,(2007-12)、383-388.
- 16) 馬場弘、金山公夫、古賀信也、瀬戸英彦、菅原智美、完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置に研究開発(第 3 報)―乾燥試験結果にもづくエネルギー解析と性能評価―、同上、389-394