

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—

Development on a Fully Passive Solar Lumber Drying Apparatus (Part 1)

— Creation of a new concept and establishment of a soft technology —

金山 公夫^{*1}
Kimio KANAYAMA馬場 弘^{*2}
Hiromu BABA古賀 信也^{**}
Shinya KOGA菅原 智美^{*3}
Tomoyoshi SUGAWARA

Abstract

Looking through the past research works again, a new effect created in combination of a few old techniques was noticed, and a fully passive solar lumber drying apparatus comprising of two house models of "East-West type" and "South-North type" was designed by ourselves, then a real model was constructed at an eastern field in Hokkaido. As a result of several lumber drying tests on the drying apparatus, the drying capability of which was demonstrated experimentally so that larch lumber of 8 ~ 10m³ could be dried out from seven days to fourteen days under an expected moisture content. In this developing research, a new concept of volumetric solar heat collection owing to a transparent hot house improved was introduced, and the highly effective performance of the apparatus was estimated analytically as the numericals and verified experimentally as the measurements. Namely, one main technology; a transparent hot house for passive collection of solar radiation, and two elementary techniques; a carbon fiber sheet (CF sheet) for excellent absorption of incident solar radiation and an insulated cylinder for passive exhaustion of inside moist air were unified altogether, and so a fully passive solar lumber drying apparatus could be established practically as a model of lumber drying technology.

キーワード：太陽熱、透明温室、パッシブ集熱、炭素繊維シート(CFシート)、高集熱能力、体積集熱、断熱円筒、パッシブ排気、木材乾燥

Keywords: Solar thermal, Transparent hot house, Passive solar heat collection, Carbon fiber sheet (CF sheet), High capability of solar heat collection, Volumetric solar heat collection, Insulated cylinder, Passive exhaustion, Lumber drying

1. まえがき

近年の地球を取り巻く環境の変化は気象にも現れ、各地で大きな災害をもたらすまでに発達している。いわゆる「地球温暖化」と呼ばれる現象である。平成19年2月に我が国政府は、このような地球温暖化現象は人為的なものとするIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第4次評価報告書¹⁾の成果を公表するとともに、種々の施策を打ち出した。すなわち、2050年における我が国の二酸化炭素の排出量を半分にまで削減しようとする目標値を掲げ、ポスト京都議定書に向けて主導権を握ろうとする姿勢である。

このように、世の中は今、地球温暖化時代に直面し、省エネルギー技術を先頭にCDM(クリーン開発メカニズム)やCO₂排出権等、先進国との技術格差や経済不均衡の是正を

求める発展途上国と先進国との間で、あるいは先進国内においても技術移転やCO₂排出量の商取引等で対処しようとしている。排出量取引でビジネスが生まれ、いわゆる3E(Energy, Environment, Economy)のトリレンマ現象²⁾が断ち切られるのであればそれなりの意味は大いにあるだろう。そしてこれらは、京都議定書の約束達成という大義名分があるから、当面の緊急避難的対策としてやむを得ない手だてと思う。しかしなんと言っても、新エネルギー関連技術の開発を促進させて再生可能な正味有効エネルギーを生み出し、石油への依存度を低減させなければ地球全体の利益、すなわち真の意味の「地球益」は生まれてこないのである。

このような時代背景のもとで種々模索するうち、ソーラーエネルギーに関する自身の過去の研究成果^{3),4)}を見直し、その中からいくつかを拾い上げて組み合わせることによって新しい効果(重ね合わせの効果)が生まれことに気づいた。

この概念に基づいて太陽熱利用の新しい乾燥技術を構築し、北海道の一次産業の中でも特に沈滞気味の林産業に注目し、この着想⁴⁾を木材乾燥に適用するべく国の研究開発事業に提案して、足かけ3年間の研究開発に携わってきた。

*1 北見工業大学名誉教授

(〒006-0023 札幌市手稲区手稲本町3条4丁目1-14-203)

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

*1~*3 マルショウ技研株式会社(北海道足寄郡足寄町西町1-12)

** 九州大学農学部附属演習林北海道演習林・林長准教授

(原稿受付：2008年3月5日)

2. 採用された技術と総合効果

2.1 三つの主要及び要素技術

1) 主要技術；ソーラー・ビニール栽培ハウス^{6), 7)}

図 2.1 に示すようなソーラービニール栽培ハウスにおいてソーラーシステムで得られた温水でハウス内の空気及び地中を加温し、透明ハウス内は日中日射を受けると床土からの水分蒸発があるにもかかわらず室温が上昇し、ハウス内が極端に乾燥する。それゆえマルチシート内にパイプで給水して植物を乾燥から守って、冬期栽培を行った(図 2.2)。

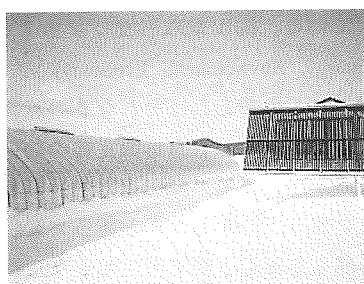
1994 年 3 月の測定結果^{7), 8)}では、入熱量 4499.1 MJ/d で、うち真空ガラス管集熱器 225.5MJ/d(面積 25.2m²、依存率 5%)、日射入熱量 3077.8MJ/d(227m²、68.4%)、給湯器熱量 1195.7MJ/d(26.6%)であった。

これは集熱器とハウス面積の割合を考慮してもハウスへの日射入熱量の方が 1.5 倍多いことになる。この場合、ハウスの日射入熱量は床面積当たりの水平面全天日射量として見積もっている。

この透明温室をコンクリート床に建てて、床暖房とファンコンベクター(以下ファンコンと略称)を設置すると、パッシブ集熱された太陽熱と床暖房、ファンコンを介した補助熱源が組み合わさってさらなる乾燥能力を発揮し、物の乾燥には格好な環境となるはずである。

Fig. 2.1 Inside of a solar vinyl green house

Fig.2.2 A solar vinyl green house and a vacuumed glass tube solar collector outside the house in the midwinter



2) 要素技術

i) 要素技術 1；炭素繊維シート(CF シート)集熱材^{9)~11)}

炭素繊維シート(CF シート)は日射の吸収がよく、研究室での実測の結果、集熱器の集熱材に適していることがわかった。そこで図 2.3 に示すような集熱器を実際に作って性能試験を実施した。

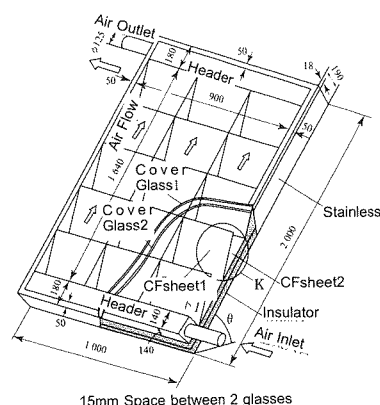


Fig.2.3 Structure of CF-sheet air type solar collector

空気集熱は水集熱より効率は低いとされていたが、二重ガラス構造(平板型空気集熱器は一般に二重カバーガラスからなる)にし、CF シートを集熱材として用いると空気集熱器の性能⁹⁾は上昇し、図 2.4 に示すように選択吸収面水集熱器のそれを比較すると同程度となることが分かった。

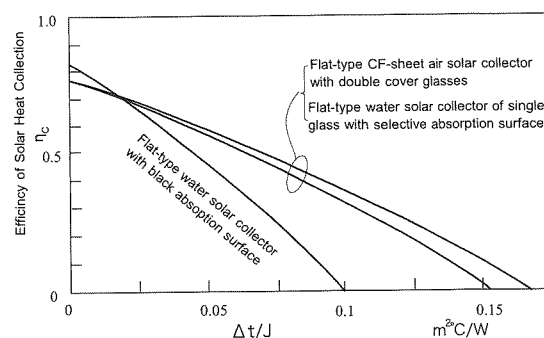


Fig.2.4 Comparison of air collection and water collection as working fluid

ii) 要素技術 2；断熱円筒^{12), 16)}

断熱材をステンレス製二重円筒の間に介在させた断熱円筒は、薄い鋼板の円筒に比べて円筒内外の気体の温度差が大きく保たれ、したがって密度差が大きくなり、強いドラフトが得られる。その原理を図 2.5 に示す。この性質を乾燥室内の湿り空気のパッシブ排気に利用する。

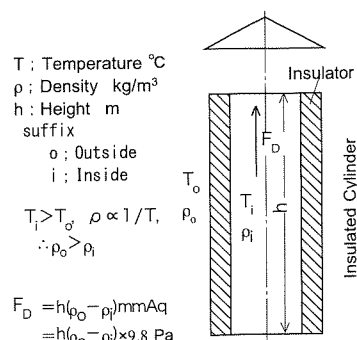


Fig.2.5 Principle of draft force of insulated cylinder

2.2 期待される総合効果とソフト技術の構築^{14)~16), 18)}

以上の主要技術、要素技術 1 及び 2 の特性を参照して、これを改良して組み合わせることによって期待される総合効果を予測しながら、以下の通り太陽熱木材乾燥装置の研究開発が段階的に遂行された。

乾燥装置の開発の経過は、まず乾燥ハウスをコンクリート床上に建てて三重透明フィルムで覆い太陽熱のパッシブ集熱を主体とし、屋根面と南面には CF シートを集熱材に用いた集熱器部を置いてアクティブ集熱の要素を取り入れたアクティブ・パッシブ集熱装置(第1世代)^{14), 15)}が開発された。

次に、アクティブ集熱が取り払われ完全にパッシブ集熱のみに依存した乾燥装置に進化した。基本構成として①三重透明フィルム温室(ハウス)をコンクリート床に設置して、②フィルム内側に空間において CF シートを張り、③ハウス外部に断熱円筒を直立されることによって、①、②によるパッシブ集熱と③によるパッシブ排気の効果により、動力を用いなくて太陽熱で物体を乾燥させ得る環境が作り出される。すなわち「完全パッシブ太陽熱木材乾燥装置」(第2世代)^{16), 18), 22)}の創出である。

この装置は、さらにハウス内には床暖房とファンコンを装備することにより、内部に装填された木材を太陽熱と補助熱のもとで日夜を問わず通年にわたり木材を乾燥させ得ることになる。

すなわち、本完全パッシブ太陽熱木材乾燥装置の基本概念は、透明温室と CF シートの高い集熱性能による太陽熱のパッシブ集熱及び断熱円筒のドラフトによるパッシブ排気の効果을組み合わせることができる室内環境で木材を乾燥させようとするものであり、その際の室内外の環境の変化を湿り空気線図上で簡単に説明することができる。

図 2.6 において、実験サイト(北海道十勝・足寄町芽登)の冬期において外気状態は A (夜間)、A' (日中)で示され、これが室内に導入されて、木材乾燥行程の初期においてはハウス内は日夜平均で B (絶対湿度 0.021kg/kg(乾燥空気))、乾燥終期には C (0.003kg/kg(乾燥空気))となり、その湿度差により除水(乾燥)が促進されることになる。この状態変化は、外部から人為的にエネルギーを加えることなく自然に発生して維持される。その際、木材乾燥のためにファンコンと小型ファンにより室内空気をゆるやかに循環させるが、それに要する動力は温水ポンプを含めても僅か 400W 程度で済み、簡単な制御のもとで乾燥が進むところのいわゆる省エネ、省力化が効いた「ソフト技術」²²⁾が構築された。

3. 透明温室に見られる体積集熱

3.1 体積集熱と面積集熱

従来用いられている平板型太陽熱集熱器では枡面を集熱面とする集熱であり、これは 1 集熱面への日射の入射成分

Dec. 13th~28th/2006 at Site in Ashoro-Meto, Tokachi-Pref., Hokkaido

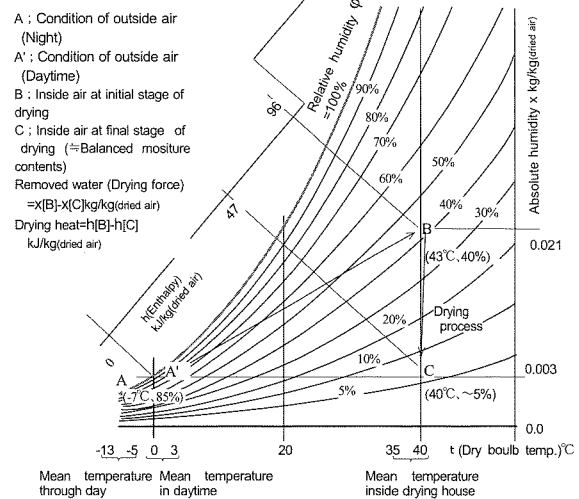


Fig.2.6 Conditional change of moist air inside and outside lumber drying house during drying process

のみしか利用していない。この場合、集熱器を取り付けた架台あるいは建物などの側面に入射する成分は排除され無駄になる。これに対して透明温室の場合は入射してくる日射をハウスを構成する各面で受光してハウス全面で集熱される。これが透明温室を用いた太陽熱のパッシブ利用の大きな特徴である。この性質は雪面からの反射光の利用も出来る雪国ではさらに有利である。ここで、仮に前者を面積集熱、後者を体積集熱と称する。(真空ガラス管式の場合は

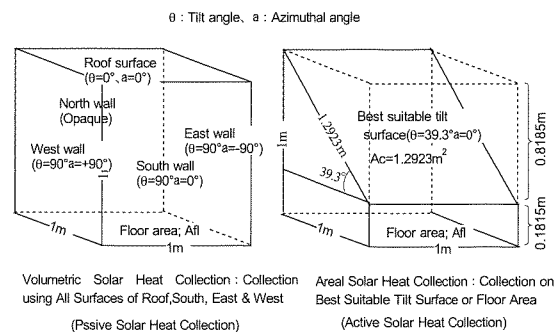


Fig.3.1 Simple analytical mode for volumetric and areal solar heat collection

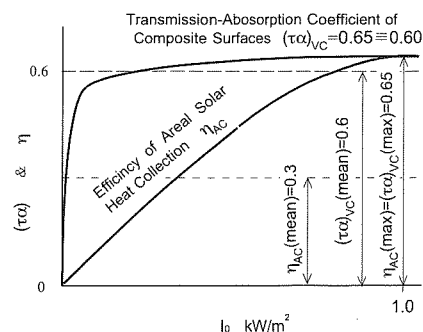


Fig.3.2 Transmission-absorption coefficient for volumetric solar collection and areal solar collection efficiency

Table 3.1 Solar Radiation (S.R.) Incidence at Experimental Site : Ashoro (43°14.5'N, 143°33.5'E) MJ/m²d

Surfaces	Angles of Tilt θ & Azimuth α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Spt	Oct	Nov	Dec	Year
Roof S.; $I(d)_{rf}=I(d)_{ho}$	$\theta=0^\circ, \alpha=0^\circ$	6.768	10.15	13.86	15.95	17.75	17.86	15.88	13.82	11.77	9.828	6.696	5.544	12.17
" ; $I(d)_{rf}=I(d)_{10^\circ}$	$\theta=10^\circ, \alpha=0^\circ$	8.665	12.17	15.61	16.96	18.32	17.92	16.23	14.40	12.72	11.33	8.300	7.202	13.34
South S.; $I(d)_{ss}$	$\theta=90^\circ, \alpha=0^\circ$	13.46	15.84	14.18	10.33	8.928	8.316	7.956	7.992	8.928	11.23	10.91	11.16	10.76
East-West Ss.; $I(d)_{we/ww}$	$\theta=90^\circ, \alpha=90^\circ$	11.59	17.57	18.58	18.72	20.458	19.94	17.64	15.41	14.04	12.89	9.360	8.748	15.41
Volumetric S.R. Incidence; $I(d)_{vs}$	Horiz. Roof 10° Tilt Roof	31.82 33.72	43.56 45.58	46.62 48.37	45.00 46.01	47.27 47.70	46.12 46.18	41.48 41.83	37.22 37.80	34.74 35.69	33.95 35.42	26.97 28.57	25.45 27.11	38.34 39.51
Best Suit. Tilt S.; $I(d)_{bs}$	$\theta=39.3^\circ, \alpha=0^\circ$	12.53	15.95	17.82	16.88	16.84	16.27	14.69	13.64	13.14	13.54	11.27	10.58	14.44
S.R. Incidence on Best Suit. Surface; $I(d)_{so}$	$A_c=1.292m^2$ $\theta_{max}=39.3^\circ$	16.19	20.61	23.03	21.80	21.76	21.03	18.98	17.63	16.98	17.50	14.56	13.67	18.66
Horizontal Total S.R. Incidence; $I(d)_{ho}$	$\theta=0^\circ, \alpha=0^\circ$	6.768	10.15	13.86	15.95	17.75	17.86	15.88	13.82	11.77	9.828	6.696	5.544	12.17

Table 3.2 Ratios of S.R. Incidence $I(d)_{vs}/I(d)_{so}$, $I(d)_{vs}/I(d)_{ho}$ and Efficiency of Volumetric Solar Heat Collection η_{vc}

Items	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Spt	Oct	Nov	Dec	Year
Volumetric S.R. Incidence; $I(d)_{vs}$	31.82	43.56	46.62	45.00	47.23	46.12	41.48	37.22	34.74	33.95	26.97	24.45	38.34
S.R. Incidence on Best Suit. Surf.; $I(d)_{so}$	16.19	20.61	23.03	21.80	21.76	21.03	18.98	17.63	16.98	17.50	14.56	13.67	18.66
Horizontal Total S.R. Incidence; $I(d)_{ho}$	6.768	10.15	13.86	15.95	17.75	17.86	15.88	13.82	11.77	9.828	6.696	5.544	12.17
Ratio of S.R. Incidence; $R_{vs}=I(d)_{vs}/I(d)_{so}$	1.97	2.11	2.01	2.06	2.17	2.19	2.18	2.11	2.05	1.94	1.47	1.86	2.05
" ; $R_{vh}=I(d)_{vs}/I(d)_{ho}$	4.07	4.29	3.36	2.82	2.64	2.58	2.61	2.69	2.95	3.45	4.03	4.60	3.15
Efficiency of Volumetric S.R. Collection; $\eta_{vc}=\{I(d)_{vs} \times 0.6\} / I(d)_{ho}$	2.82	2.57	2.02	1.69	1.58	1.55	1.57	1.61	1.77	2.07	2.42	2.76	1.89

マクロに見て面積集熱であるが、若干体積集熱の要素あり)

いま、体積集熱と面積集熱の得失を比較するために、図 3.1 に示す単純モデルを設定し、集熱性能を算出する。

3.2 集熱効率の簡易計算¹⁶⁾

簡易計算ではあらかじめ得られている垂直壁面を含む各入射面への直達成分と散乱成分からなる傾斜面日射量 (kWh/m²d)¹⁷⁾を用いて計算する。

(1) 体積集熱(パッシブ利用) ハウスの各構成面について、三重フィルム透過率 $\tau_f^3=0.93 \times 0.93 \times 0.93=0.804$ 、フレーム枠透過率 $\tau_r=0.9$ 、CF シート吸収率 $\alpha_s=0.85$ と仮定すると、体積集熱における構成面の透過吸収係数 $(\tau\alpha)_{vc}=\tau_f^3 \times \tau_r \times \alpha_s=0.804 \times 0.9 \times 0.85=0.615 \equiv 0.60$ となる(掛け合わせの原理)。

透過吸収係数は原理からいって日射量によって変化せず、図 3.2 に示すように年間の平均透過吸収係数 $(\tau\alpha)_{vc}(\text{mean})$ は 60%、最高の透過吸収係数は瞬時値で 65% が期待できる。

(2) 面積集熱(アクティブ利用) 平板型集熱器(空気集熱の場合保温のため一般に二重透過膜にする)の集熱面について、二重フィルム透過率 $\tau_f^2=0.93 \times 0.93=0.865$ 、集熱材の吸収率 $\alpha_s=0.85$ と仮定し、天候変動係数 C_w 、送気・漏洩係数 C_A とおくと、送気・漏洩損失係数 $1-C_A=0.85$ と考えて良く、平板型集熱器の面積集熱効率 η_{ac} は $\eta_{ac}=\tau_f^2 \times \alpha_s \times (1-C_A) \times C_w=0.865 \times 0.852 C_w=0.625 C_w$ となるが汚れ等を考慮して $\eta_{ac}=0.60 C_w=\eta_{ac}(\text{max})$ となるが、これは瞬時値である。

ここで、 C_w は天候変動係数で日射の時間的変動によって集熱効率が低下する割合を表す。そして、天候変動係数 C_w 及び送気・漏洩損失係数 $(1-C_A)$ は天候が変化したり日射量が減少すれば低下するので、面積集熱効率 η_{ac} は日射量の減少とともに図 3.2 のように低下し、年間の平均集熱効率 $\eta_{ac}(\text{mean})$ は経験^{12), 13)}から平板型水式集熱器で 30%程度、真空二重ガラス管型水式集熱器で 40%程度である。しかも空気集熱式では集熱用ファンの動力を相当量必要とする。

3.3 年間集熱量の比較(表 3.1 及び表 3.2 参照)¹⁷⁾

以上の説明により、体積集熱量及び面積集熱量はそれぞれ

体積集熱量=体積入射日射量×透過吸収係数

面積集熱量=面積入射日射量×面積集熱効率

の関係より求められ、その相違ははっきりする。

体積集熱による年間集熱量 $Q_{vc}=I(d)_{vs} \cdot A_n \times (\tau\alpha)_{vc}(\text{mean})=38.34 \times 1 \times 0.60=23.0 \text{ MJ/d}=8395 \text{ MJ/y}$

最適傾斜面の面積集熱による年間集熱量 $Q_{sc}=I(d)_{so} \cdot A_c \times \eta_{ac}(\text{mean})=14.44 \times 1.2923 \times 0.30=5.60 \text{ MJ/d}=2044 \text{ MJ/y}$

両者の比率 $Q_{vc}/Q_{sc}=8395/2044=4.11$ (倍)

床面等価の平板型集熱器(水平)による面積集熱の年間集熱量 $Q_{hc}=I(d)_{ho} \cdot A_n \times \eta_{ac}(\text{mean})=12.17 \times 1 \times 0.3=3.65 \text{ MJ/d}=1333 \text{ MJ/y}$

両者の比率 $Q_{vc}/Q_{hc}=8359/1333=6.30$ (倍)

いま、床面日射量基準の体積集熱効率 η_{vc} を求めると

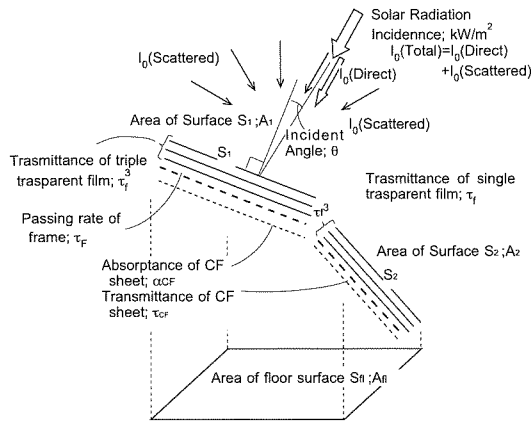


Fig.3.3 Introduction to volumetric solar heat collection and the normal calculation method

$$\eta_{vc} = Q_{vc} / (I(d)_{HO} \times 365) = 8395 / (12.17 \times 365) = 8395 / 4442 = 1.89 (=189\%)$$

ゆえに、体積集熱量 Q_{vc} の年間値は床面日射量 $I(d)_{HO}$ の年間値に体積集熱効率 η_{vc} を掛けることにより算出され、その値は床面基準の面積集熱量の 6.30 倍になる。ただし、外部への熱損失はいずれの場合も同じものとする。

ここに示した簡易計算法は、各地のアメダス気象データの日照時間から算出された各月 1 日当たりの傾斜面日射量(直達日射量+散乱日射量)¹⁷⁾をもとに体積集熱量を予測するもので、日本全国 801 か所のアメダス観測地点でデータが収録されているので実用的で便利である。

3.4 体積集熱効率の正規算法^{20), 21)}

図 3.3 及び図 3.4 に示すように、入射日射量を直達成分と散乱成分に分け(直散分離)¹⁸⁾、透明フィルム 1,2,3 の透過率(τ_1 、 τ_2 、 τ_3)、フレームの通過率(τ_f)、CF シート吸収率(α_s)は前節 3. 3.2、(1)と同様に与えると、透過吸収係数($\tau\alpha$)_{vc}=0.615 となるが、フィルム汚れ等を考慮 0.60 とする。

いま、体積集熱量を図 3.4 に示すように定義すると、体積集熱量 $Q_{sn}(全)$ は各フィルム面への入射日射(直達成分+散乱成分)に($\tau\alpha$)_{vc} と面積 A_n (ただし直達成分には投影面積)をかけて算出され、床面入射日射量基準の体積集熱効率 η_{vc} は次のように求められる。

すなわち、立体的に入射する日射に対する体積集熱量及び体積集熱率は

1) 直達成分について;

$$\text{面 } S_1 \text{ の透過吸収熱: } q_{s1}(\text{直}) = I_0(\text{直}) A_1 \cdot \cos\theta_1 \cdot \tau_1^3 \cdot \alpha_s \cdot \tau_f$$

$$\text{面 } S_2 \text{ の透過吸収熱: } q_{s2}(\text{直}) = I_0(\text{直}) A_2 \cdot \cos\theta_2 \cdot \tau_1^3 \cdot \alpha_s \cdot \tau_f$$

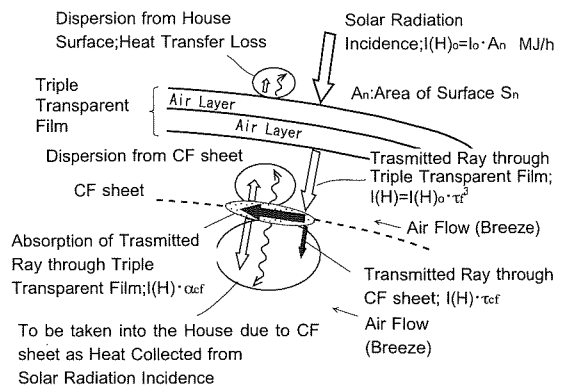
.....

$$\text{直達成分合計 } \Sigma q_{sn}(\text{直}) = \Sigma I_0(\text{直}) A_n \cdot \cos\theta_n \cdot \tau_1^3 \cdot \alpha_s \cdot \tau_f \quad (3.1)$$

2) 散乱成分について

$$\text{散乱成分合計 } \Sigma q_{sn}(\text{散}) = \Sigma I_0(\text{散}) A_n \cdot \tau_1^3 \cdot \alpha_s \cdot \tau_f \quad (3.2)$$

式(3.1)と式(3.2)を日照時間について積分して加算するとその期間の体積集熱量が式(3.3)によって得られる。



∴ Volumetric Solar Heat Collection = Summing up $I(H) \cdot \alpha_{cf} + I(H) \cdot \tau_{cf}$ which came from Roof, South, East and West Surfaces
Hence, $\alpha_{cf} + \tau_{cf} = 0.85 \equiv \alpha_s$

Fig.3.4 Heat balance on the volumetric solar heat collection and definition of collected heat

$$Q_{sn}(全) = \int \Sigma q_{sn}(\text{直}) + \int \Sigma q_{sn}(\text{散}) \quad (3.3)$$

ゆえに、体積集熱効率 η_{vc} は

$$\eta_{vc} = \text{体積集熱量 } Q_{sn}(全) / (A_{fl} \text{ に入射する期間全日射量}) \quad (3.4)$$

また、式(3.4)を書き換えて、その期間の体積集熱量 $Q_{sn}(全)$ は

$$Q_{sn}(全) = [A_{fl} \text{ の期間全日射量}] \cdot \eta_{vc} \equiv Q_{vc} \quad (3.5)$$

として得られる。

3.5 実施例における体積集熱効率

実装置としては図 4.1 に示すような「完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置(東西型)」を対象にして、透明温室の計算モデルを図 3.5 のように設定する。解析の手順は単純モデルの場合と同じなので、これにならって体積入射日射量

$I(Q)_{vs} (=I(d)_{vs} \cdot A_n)$ 、体積集熱量 Q_{vc} 及び体積集熱効率 η_{vc} を算出し、結果のみを示すと図 3.6 のようになる。

つぎに、算出された体積集熱効率 η_{vc} を用いて、実装置に関する実証試験の結果を参照して「完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置(東西型)」の実測値(H18.12.13 ~ 12.28)を検証する。表 3.1、図 3.5 及び図 3.6 を参照して;

12 月の水平面全日射量 $I(d)_{HO} = 5.544 \text{ MJ/m}^2\text{d}$ 、ハウス床面積 $A_n = 22.5 \text{ m}^2$ 、日数 14 日より

$$\text{期間中の床面積全日射量 } I(Q)_{fl} = I(d)_{HO} \times 22.5 \times 14 = 5.544 \times 22.5 \times 14 = 1746 \text{ MJ}$$

$$\text{期間中の体積集熱量 } Q_{vc} = I(Q)_{fl} \times \eta_{vc} = 1746 \times 2.02 = 3527 \text{ MJ となる。}$$

ここで、体積集熱効率 $\eta_{vc} = 2.02 (=202\%)$ は図 3.6 中の表の 12 月の値である。

「完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置(南北型)」に関しても同様に類似の結果が得られる。

3.6 断熱円筒のドラフトフォース¹⁶⁾

図 2.5 に示すように断熱円筒の内外の空気の温度差から

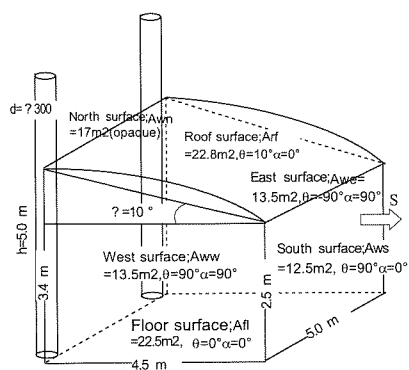


Fig.3.5 Calculation model of a fully passive solar lumber drying house (East-West type)

生じた密度差と、断熱円筒の高さ h (m) との積として円筒内に浮力が生じる。この浮力が吸引力となりハウス内の湿り空気をパッシブ排気するためのドラフトフォース F_D として作用する。

F_D (Pa) の強さについては、断熱円筒内外の気体の温度差にもとづく密度差の実測値から算出すると 10Pa 程度 (150W 軸流ファンの静圧の 1/10) になり、実測の結果、円筒内平均風速 1.0m/s 程度 (図 5.1 ~ 図 5.3 の V_e 参照) が得られる。この円筒内平均風速及び円筒内径から風量が求められ、乾燥室容積から換気回数 4 ~ 5 回/h が算出される。これは本太陽熱利用木材乾燥装置のパッシブ排気量としては十分である。

4. 完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置

以上、新しい概念のもとに完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥ハウスの東西型及び南北型の二つのタイプが設計、建設された¹⁷⁾。

4.1 東西型モデル

完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥ハウスの東西型モデルは、木材装填の方向が東西向きで図 4.1 に示すように半蕨鋸型をしたハウスである。

本装置は、CF シートを内張した三重透明フィルム温室を床暖房埋設のコンクリート床上に設置して乾燥室を構成し、内部に木材製材を棧積に装填して乾燥を行うものである。熱源として透明温室でパッシブに集熱された太陽熱と、2 組のファンコン (FC1-1, FC1-2) 及び床暖 F_H からの補助熱を用いて所定の室温が得られる。この室内空気はファンコン内蔵のファン及び天井の 4 個の小型ファン (F2-1 ~ F2-4) によって木材乾燥のために緩やかに循環される。その際、乾燥で生じた湿り空気は 2 本の断熱円筒のダンパーダクト (D2-1, D2-2) からパッシブ排気され、不足分はハウス東西側面に取りつけられた 2 個のダンパーダクト (D1-1, D1-2) を通して外気が導入される。吸入及び排気ダクトのダンパーは日射によって制御され、日中は全開、夜間は半開となる。

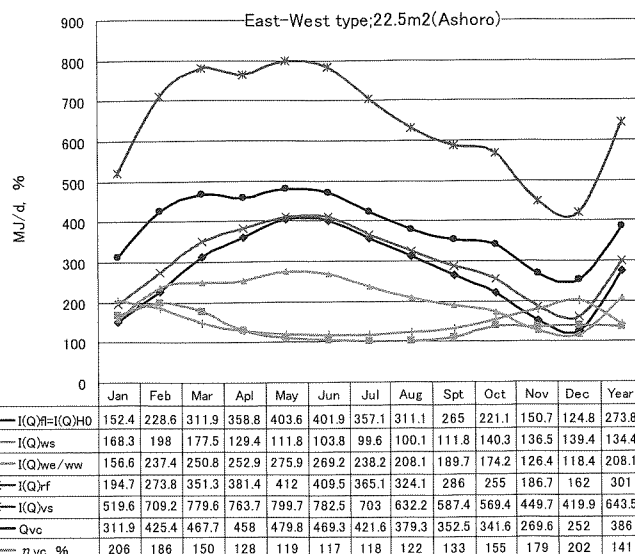


Fig.3.6 Volumetric solar heat collected Q_{vc} and efficiency of volumetric solar heat collection η_{vc}

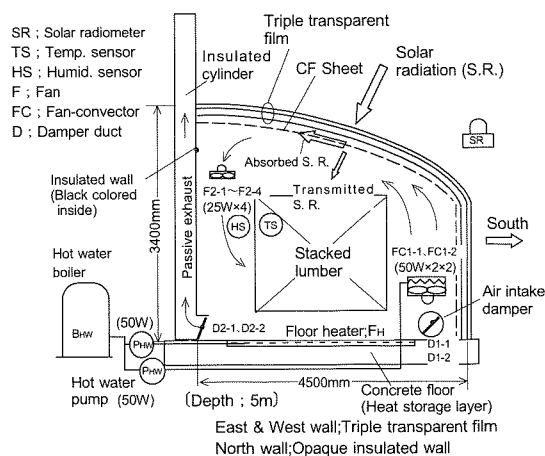


Fig.4.1 Fully passive solar lumber drying house (East-West type)

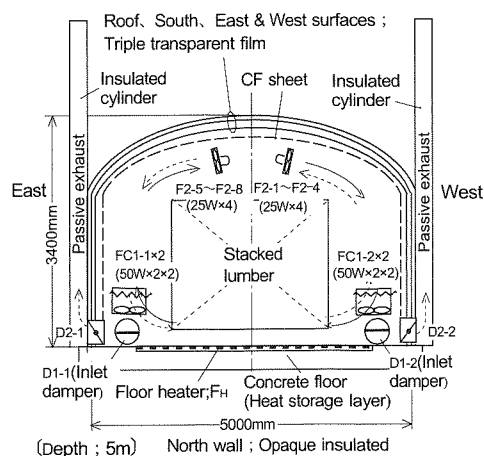


Fig.4.2 Fully passive solar lumber drying house (South-North type; North side view)

東西型では室内空気はファンコンと小型ファンにより一方向にのみ循環される。北側面は不透明断熱壁である。

4.2 南北型モデル

完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥ハウスの南北型モデルは、木材装填方向が南北向きで、図 4.2 に示すように蒲鉾型をしたハウスである。

本装置は、CF シートを内張した三重透明フィルム温室を床暖房埋設のコンクリート床上に設置して乾燥室を構成し、内部に木材製材を棧積に装填して乾燥を行うものである。東西型と同様に、熱源として透明温室で

パッシブ集熱された太陽熱と、ファンコン及び床暖からの補助熱を用い所定の室温を得て、床に配置されたファンコン内蔵のファン及び天井の小型ファンによって室内空気の循環をもたらし、乾燥で生じた湿り空気を断熱円筒のドラフトを利用してパッシブ排気する。

南北型では(F2-1 ~ F2-4)、(F2-5 ~ F2-8)に示すように、小型ファンが東西の天井に 4 個ずつ合計 8 個が背を向けて取り付けられており、一方、ファンコンは(FC1-1 × 2)、(FC1-2 × 2)に示すように 2 台 1 組となって東西側床に据え付けられている。室内空気は対角線上にある 1 組のファンコンと 4 個の小型ファンが一對になって半日毎に互いに正転、逆転することにより循環方向が転換される。湿り空気は 2 本の断熱円筒のダンパーダクト(D2-1,D2-2)からパッシブ排気され、外気はハウス南側に取り付けられたダンパーダクト(D1-1,D1-2)から吸入される。ダンパーの開閉は東西型と同様に日射により制御される。北側面は三重透明フィルムの内側に厚手の黒色フェルトを張り断熱性を持たせてある。

ここで、東西型、南北型ともに稼働時の消費動力は 2 組のファンコン内蔵のファン 200W(50W × 2 × 2)、4 個の小型ファン 100W(25W × 4)及び 2 個の温水ポンプ 100W(50W × 2)の合計 400W である。これは乾燥装置への全供給熱量の 3 ~ 4%程度である。

5. 木材乾燥装置の乾燥性能

5.1 室内外温湿度、風速及び日射量

図 5.1 は棧積製材 8m³ に対して、特に冬至を挟む冬期 2 週間の乾燥工程における室内外温湿度、断熱円筒内風速、日射量の日々の変化を示している。この試験期間中、概ね晴天続きで 15 日間のうち曇天は 1 日、完全な曇天が 1 日、欠測が 1 日であった。その間の室温は日中は 40℃前後、夜間は 35 ~ 38℃で、室内の湿度は初期の約 40%から終期には日中 5%にまで低下して乾燥が進行したことを示している。

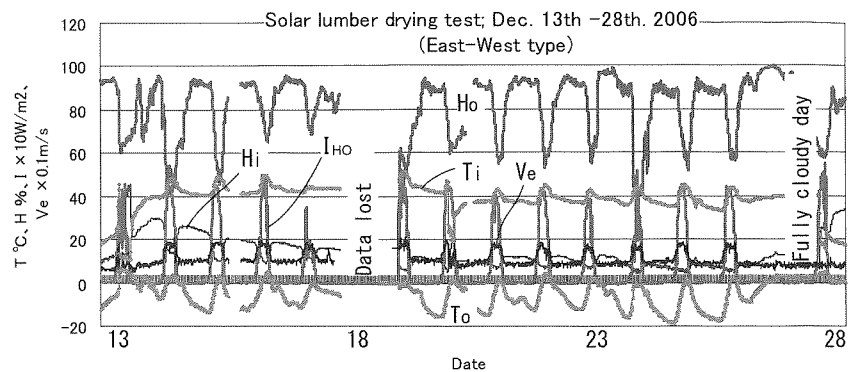


Fig.5.1 Daily change of temperature, humidity, solar radiation and air velocity in insulated cylinder on solar lumber drying around the winter solstice

Table 5.1 Experimental Results on the 2nd Drying Test (Dec.13th~28th/06)

Items	East-West Type	South-North Type
T _o °C / H _o %	-5.0 / 79.2	
T _i °C / H _i %	37.0/14.0	36.7/13.0
Q _{in} GJ	23.6	21.8
η _{vc} %	205	161
Q _{vc} GJ	4.3	3.6
F _s %	18.3	16.4
Rev %	10.1	11.2
W _{ev} kg	980	1010
ΔM _e % (D.B.)	37→10	38→9

Table 5.2 Solar Radiation and Inside & Outside Surrounding Conditions in Usual Drying Process in Winter (East-West Type)

Items	Initial Condon	Final Condon
I _{so} W/m ²	500	450~500
T _o °C	-13~5	-18~0
H _o %	50~90	60~90
T _i °C	40~45	~40
H _i %	30~45	~5
V _e m/s	0.8~1.8	0.7~1.7

断熱円筒内風速は日中日射を受けて室温が 40℃以上になると 1.7m/s、夜間はほぼ 1.0m/s で一定している。

表 5.1 は、図 5.1 における乾燥試験の室内外の温湿度及び装置の乾燥性能を、期間中の平均または合計値としてそれぞれの数値で示している。また、表 5.2 は同じ乾燥試験中の乾燥初期(H18.12.13)と終期(12.24~26)における室内外の温湿度環境及び円筒内風速の平均的範囲を示し、図 2.6 の湿り空気線図上の変化(A,A',B,C 点)に対応させてある。

図 5.2 及び図 5.3 は並行して乾燥試験を進めている「南北型」の同じ期間における乾燥初期及び終期の 1 日の室内外温湿度、風速、日射量の変化を時間軸を拡大して示している。「東西型」と数値は若干異なるがそれぞれ上述の特徴が伺われる。

5.2 木材乾燥速度²³⁾

図 5.4 は木材材材(カラマツ 2 × 4 材)8m³ を装填して乾燥させたときの含水率変化(全乾基準)である。冬至を挟む期間にもかかわらず含水率は当初の約 40%から 15 日目(正味 14 日)には 10%以下に乾燥され、過剰乾燥気味になっているのが伺われる。

このような木材乾燥試験はこれまでに都合 18 回行われ、太陽熱のみによる乾燥試験も行っており、それなりの良い結果が得られている。

6. まとめ

過去の研究成果から一つの主要技術及び二つの要素技術を抽出して組み合わせ、生じた新しい効果のもとに「完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置」を実現することができた。

完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置について実際に供試木材を装填して乾燥試験を行い、基本的性質として室内温度及び湿度の変化を中心に装置性能及び乾燥能力について概要が把握できた。

透明温室からなる本装置の太陽熱利用の特徴は「体積集熱」という新しい概念で説明され、外部との熱授受及び物質授受には動力を用いずすべて自然力に依存するもので、本装置を「完全パッシブ太陽熱利用」と呼ぶ所以でもある。

実証試験の結果によれば、従来の蒸気加熱乾燥(80 ~ 120℃、~ 80%)²⁴⁾では考えられない低温低湿度の室内環境のもとで木材の自然乾燥が助長され、しかも 1 ~ 2 週間程度でカラマツ製材の乾燥が効率よく行われることが分かった。

今後も公設試験機関の協力も得て、装置の効果的な使用方法による含水率の変化を主体に、木材製材の乾燥試験を継続し、乾燥ムラや亀裂など材質についても試験を繰り返し、装置性能の向上を目指す予定である。

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、とかちペレット協同組合、九州大学農学部附属演習林北海道演習林及び北海道立林産試験場の多くのスタッフの協力により鋭意推進されたもので、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り、ここで各位に厚く感謝します。

なお、本研究開発は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の研究開発事業「太陽熱木質系材料乾燥装置の研究開発」の一環であり、NEDO のご配慮に感謝します。

〔主な記号説明〕

◇日射量に関して

I：単位面積、単位時間当たり日射量 kW/m²、MJ/(m²h)

I(d)：単位面積、1 日当たり日射量 kWh/(m²d)、MJ/(m²d)

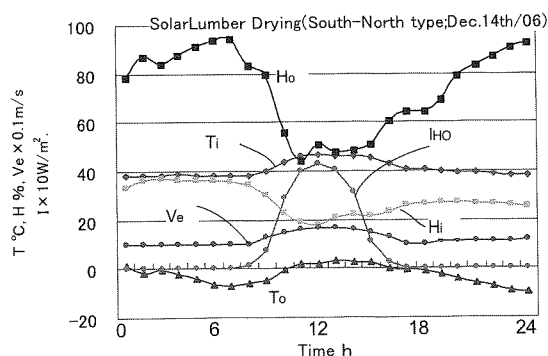


Fig.5.2 Hourly changes of temp. & humid., air velocity and solar radiation at initial period of drying process

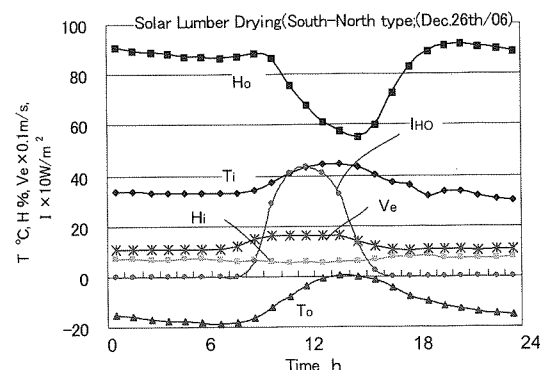


Fig.5.3 Hourly changes of temp. & humid., air velocity in insulated cylinder and solarradiation at final period of drying process

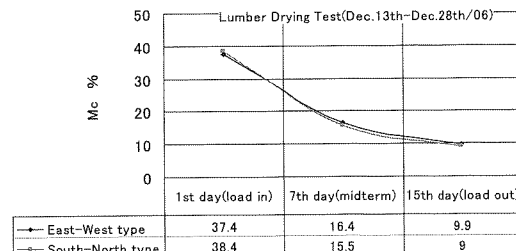


Fig.5.4 Drying speed on larch lumber(8m³) due to solar lumber drying house around winter solstice

I(H)：単位時間当たり日射量 kW, MJ/h

I(Q)：日射量 MJ、または期間日射量 MJ/期間

A：面 m²

An：面 Sn の面積 (n：1 …… n) m²

添え字；

0：天空からの全日射量

HO：水平面全日射量

fl：床面

ws：南壁面

we：東壁面

ww：西壁面

we/ww：東西壁面

rf：屋根面

vs：体積入射

θ : 受光面の傾斜角 $^{\circ}$

a : 受光面の方位角 $^{\circ}$

◇集熱量に関して

Q : 集熱量 MJ、または期間集熱量 MJ/期間

q : 全日射の時間当たり透過吸収熱量 MJ/h

η : 集熱効率 —

α : 吸収率 —

τ : 透過率 —

$(\tau\alpha)$: 透過吸収係数 (=体積集熱における入射面集熱効率) —
添え字または括弧付き文字;

S_n : 入射面 S_n , $n=1 \cdots n$.

(直): 直達成分

(散): 散乱成分

(全): 全日射

vc : 体積集熱

AC : 面積集熱

◇その他

T : 温度 $^{\circ}C$, t : 湿り空気線図の乾球温度 $^{\circ}C$

H : 相対湿度 %

x : 絶対湿度 kg/kg (乾燥空気)

h : 断熱円筒高さ m, またはエンタルピー kJ/kg (乾燥空気)

V_e : 断熱円筒内空気速度 m/s

Q_m : 全供給熱量 GJ

F_s : 太陽熱依存率 %

Rev : 蒸発熱量割合 %

W_{ev} : 蒸発水量 kg

M_c : 含水率 %, ΔM_c : 含水率低減 %,

ρ : 密度 kg/m³

添え字;

o : 外側または室内

i : 内側または室外

参考文献

- 1) IPCC (2007): Climate Change 2007, Cambridge Univ. Press, 2007;
<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th_rep.html>
- 2) 依田直監修、トリレンマへの挑戦、人類いま選択のとき、毎日新聞社、(1993).
- 3) 金山公夫、[特別講演] わが生涯研究「ソーラーエネルギー」=いま、地球温暖化時代に生きて=、太陽/風力エネルギー講演論文集(2007)、1-8.
- 4) 金山公夫、馬場弘共著、ソーラーエネルギー利用技術—地球温暖化の抑制と持続可能な発展のために—、森北出版、東京、(2004-5).
- 5) 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.
- 6) 金山公夫、[招待講演] 太陽エネルギーの産業利用実施例、太陽/風力エネルギー講演論文集、(1991-9)、7-14.
- 7) 金山公夫、馬場弘、遠藤登、寒冷地におけるソーラービ

ニールハウスによる野菜の通年栽培、太陽/風力エネルギー講演論文集、(1995)、245-248.

8) 4)に同じ、215-218.

9) 例えば、金山公夫、馬場弘、炭素繊維を集熱材とする空気集熱器の解析、第22回日本伝熱シンポジウム講演論文集、(1985-5)、280-282.

10) 姜希猛、馬場弘、常本秀幸、金山公夫、遠藤登、二重ガラス管 CF シート空気式集熱器の集熱性能の数値解析および実験、機論、B、67巻、655号、(2001)、759-766.

11) 4)に同じ、67-75.

12) 4)に同じ、177-178.

13) 金山公夫、馬場弘、遠藤登、ソーラーヒートポンプシステムの性能評価と経年変化、太陽エネルギー、Vol.22, No.2, (1996-3) 39-45.

14) 金山公夫、馬場弘、瀬戸英彦、菅原智美、太陽熱利用木質系材料の乾燥に関する研究開発の概観、日本機械学会道支部第45回講演概要集、(2006-9)、155-156.

15) K.Kanayama, H.Baba, S.Koga, H.Seto, and T.Sugawara, Developing Research on an Active-Passive type Solar Lumber Drying House, Renewable Energy 2006 Proceedings, O-T-2-2, (Oct. 2006), 509-512.

16) 金山公夫、馬場弘、古賀信也、瀬戸英彦、菅原智美、新規概念に則った太陽熱利用木材乾燥装置の概観、第17回環境工学総合シンポジウム2007講演論文集、(2007-7)、318-321.

17) 気象協会データベース;(CD-ROM)MONSOLA00(801)より、NEDO編;全国日射関連データマップ、足寄、(H9)、110.

18) 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、第17回環境工学総合シンポジウム2007講演論文集、(2007-7)、312-315.

19) 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、北見工業大学における日射量測定値の解析とそれに基づく傾斜面日射量の算定)、機論、B、(昭60-7)、2451-2456.

20) 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.

21) 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量の算出、熱工学コンファレンス2007講演論文集、(2007-11)、323-324.

22) 金山公夫、馬場弘、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の研究開発(第1報)—新しい概念の創出とソフト技術の構築—、第23回寒地技術シンポジウム、(2007-12)、377-382.

23) 古賀信也、大崎繁、馬淵哲也、扇大輔、長慶一郎、内山康平、馬場弘、瀬戸英彦、金山公夫、菅原智美、太陽熱・木質バイオマス燃料熱併用木材乾燥装置の開発、第57回日本木材学会大会研究発表要旨、(2007-8)、108.

24) 寺沢眞、木材乾燥のすべて[改訂増補版]、海青社、東京、(2004-3)、229.