

太陽熱利用による穀物の人工乾燥 (III)

— 循環式乾燥機による太陽熱利用もみ乾燥について —

中川 健治・堀部 和雄・大下 誠一

Artificial Drying of Grain with Solar Heated Air (Part III)

— On paddy rice drying with a circulating type grain dryer utilizing solar energy —

Kenji NAKAGAWA, Kazuo HORIBE, Sei-ichi OSHITA

目 次

I. 緒 言

I 緒 言

II 57年度循環式乾燥機によるもみ乾燥実験……(66)

    A. 実験設備と実験方法……(66)

    B. 実験結果……(66)

III 58年度循環式乾燥機によるもみ乾燥実験……(68)

    A. 実験設備と実験方法……(68)

    B. 諸数値の計算法……(68)

    C. 実験と実験結果……(69)

IV 実験結果の考察……(71)

    A. 循環式乾燥機における乾燥速度と乾燥所要時間  
        ……(71)

    B. 乾燥に関係する諸要因とその影響度……(71)

        B-1 積算日射量と乾燥速度(乾減率)の関係  
            ……(71)

        B-2 積算日射量と集熱量の関係……(72)

        B-3 集熱量と穀物水分蒸発量の関係……(72)

        B-4 通風量と穀物水分蒸発量の関係……(73)

        B-5 通風量と乾減率の関係……(73)

        B-6 乾燥機内通風面積と乾減率の関係……(74)

        B-7 乾燥機満たん率と乾減率の関係……(74)

        B-8 初期含水率と乾燥所要時間の関係……(75)

        B-9 集熱面積と乾減率の関係……(75)

V 論 議……(75)

    A. 太陽熱利用乾燥ハウスの集熱可能量……(75)

    B. 太陽熱利用穀物乾燥機によるもみ乾燥可能量  
        ……(76)

VI 摘 要……(77)

VII 結 言……(77)

    参考文献……(78)

    Summary ……(78)

現在農村で広く利用されている穀物循環式乾燥機を農作業兼用の太陽集熱ハウス内に設置し、太陽熱利用による穀物乾燥の可能性をみるための実験を昭和57年に実施したところ、乾燥処理可能量や乾燥速度の面からみて非常によい結果を得た。それで昭和58年度には現在市販されている循環式乾燥機の中から太陽熱利用のもので、より速い乾燥が期待できると思われるものを1機種選定して追加導入し、実用規模のもみ乾燥実験を繰返し実施した。そしてその結果をいろいろな角度から検討することによって、乾燥に関係する各種要因の穀物乾燥速度や品質への影響度や、1シーズン中に乾燥可能な穀物量とか、乾燥機1台当りの所要集熱ハウス面積などを把握することにつとめた。その結果、この乾燥方法はかなり実用性が高いことが次第にはっきりしてきたので、ここにその概要を報告しご批判を仰ぐ次第である。

なお、本実験はビニールハウス利用平形静置乾燥機の省力化のための実験や、貯蔵乾燥機による太陽熱利用もみ乾燥実験も同時に実施をした<sup>1)</sup>。

本研究は文部省科学研究費(エネルギー特別研究(I))の交付を受けて実施をした。当局に対し深く感謝しますとともに、研究代表者川村登京大教授をはじめ、本学附属農場藤山莞然助教授、中野博、服部健爾技官、小林珠樹氏らのご協力に対し心から感謝をする次第です。なお本研究の遂行にはこれを卒業論文のテーマに取上げた専攻生平岡茂樹、中沢明、細井優、横井正造、小友佐、佐野正彦君らの努力に負うところが多かったことを申し添

え、ここに厚く御礼を申し上げます。

## II. 57年度循環式乾燥機によるもみ乾燥実験<sup>1,2)</sup>

### A. 実験設備と実験方法

57年度に写真3-1に示すような縦、横、高さがそれぞれ5mの大きさに、表面を強化ガラス繊維板（商品名ファイロン板）で覆った農作業舎兼用の太陽集熱ハウス（以後「乾燥ハウス」と略称する）を、本学附属農場のトラクタ総合試験室敷地内の従来からあるビニールハウスに隣接して建てた。そしてこの中に循環式乾燥機（SA式、容量2.1ton入り）と貯蔵乾燥機各1台を設置し、図3-1で示すようにハウス内温熱空気を吸引し乾燥機内



写真3-1 穀物乾燥装置の外観

Photo. 3-1. View of a grain drying system using a iron-covered house as a solar collector

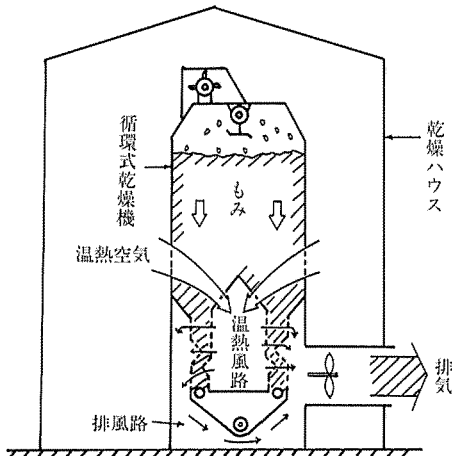


図3-1 乾燥ハウス利用もみ乾燥方法の模式図

Fig. 3-1. Schematic drawing of the grain drying method using the drying house as a solar collector.

の穀物層を通してハウス外へ排風する方法によって燃料油を使うことなく生もみの乾燥を行なった。集熱面積は乾燥ハウスと90m<sup>2</sup>のビニールハウス間の仕切り戸を開閉することによって25m<sup>2</sup>と115m<sup>2</sup>について実験をした。

### B. 実験結果

循環式乾燥機によるもみ乾燥実験は、附属農場でもみがコンバイン収穫された昭和57年9月10日から15日までと、10月1日から16日までの間に6回実施し、生もみ約6.5tonの乾燥を行なった。最初の1,2回は貯蔵乾燥機と同時運転で集熱面積もビニールハウスを含めた115m<sup>2</sup>であったが、3回目からは25m<sup>2</sup>の乾燥ハウスだけの集熱面積で、循環式乾燥機1台の単独運転により乾燥作業を行なった。

図3-2は乾燥実験期間中の日時、天候、ハウス内外温度、積算日射量、もみ含水率などの経時変化を示している。

表3-1は実験回数ごとの実験条件や測定値の要点をまとめたものである。

これを見ると、晴天で初期含水率が低ければ1日間で（例えば10月5日）、初期含水率が20%w.b.を超えていても晴天ならば日中2日間の通風で乾燥は終了し平均乾減率も0.46%w.b./hと比較的高い値を示している。しかも乾燥むらや胴割れも生ぜず乾燥所要労力も非常に少ない。

これは予想を超える好成績であると判断したので、実験結果についていろいろな角度から検討をしてみた。そして更に品質をおとさずに乾燥速度をはやめ、処理量を増加するためには乾燥機の構造や運転取扱法をいかようにすればよいかについて考えてみた。

その結果の1つとして乾燥機内乾燥室が薄い堆積層で通風面積の広いものが太陽熱利用乾燥に適するのではないかと予想されたので、58年度には通風面積の広い循環式乾燥機をあらたに追加導入して実験してみることにした。

なおここでの実験結果の検討内容は58年度のそれとあわせて述べることにする。

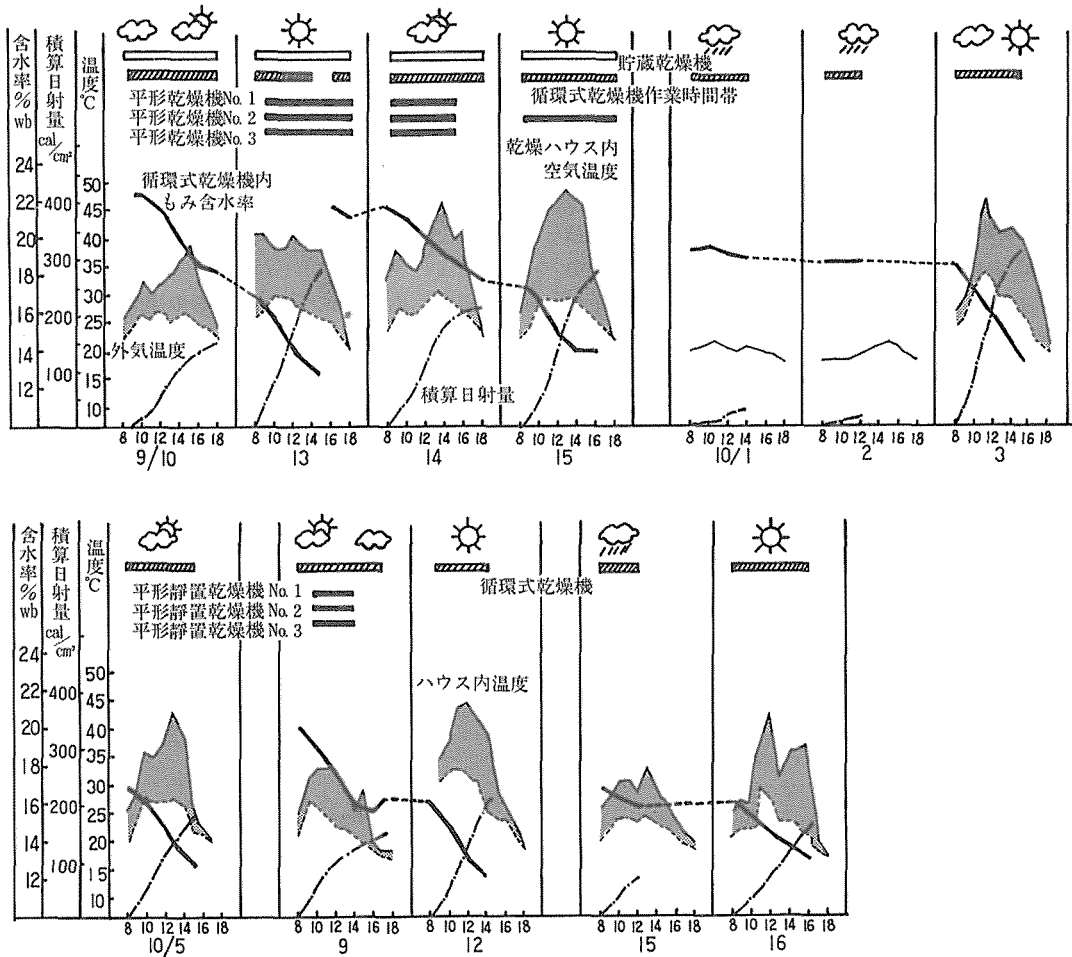


図 3-2 乾燥ハウス内通風乾燥時の日射量，ハウス内外温度，もみ含水率などの経時変化（昭和57年9～10月）  
 Fig. 3-2. Hourly changes of solar radiation, inside and outside air temperature, moisture content of paddy rice, etc. under the forced-air drying in the drying house. (Sep. and Oct. 1982)

表 3-1 循環式乾燥機による実験測定値(昭和57年秋)

	張込量 (kg)	初期含水率 (%w.b.)	終了時含水率 (%w.b.)	通風時間 (h)	乾減率 (%w.b./h)	集熱面積 (m <sup>2</sup> )
1 回目 (9月9日～13日)	887.3	22.3	13.0	16.5	0.56	115
2 回目 (9月14日～15日)	1861.4	21.6	14.0	18.0	0.38	115
3 回目 (9月30日～10月3日)	814.4	19.3	13.3	16.3	0.37	25
4 回目 (10月4日)	597.1	16.8	12.8	7.0	0.57	25
5 回目 (10月8日～12日)	929.7	20.7	12.1	15.0	0.57	25
6 回目 (10月14日～16日)	1387.0	16.9	13.1	12.0	0.32	25
平均	1079.5	19.6	13.1	14.1	0.46	

III. 58年度循環式乾燥機によるもみ乾燥実験<sup>3)</sup>

A. 実験設備と実験方法

57年度に建てた乾燥ハウス内に、同年度導入の循環式乾燥機(SA式 2.1 ton 入り)と58年度に導入した循環式乾燥機(SI式 2.6 ton 入り)各1台を設置した。図3-3は本実験設備の平面図と正面図である。太陽集熱面積は25m<sup>2</sup>の乾燥ハウスと60m<sup>2</sup>のビニールハウス間の仕切戸開閉により25m<sup>2</sup>と85m<sup>2</sup>(25+60)について実験できるようにした。

いずれの乾燥機もハウス内の温熱空気を吸引し乾燥機内の穀物層を通過させてハウス外へ排風する方式をとり、燃料油を一切使うことなく生もみの乾燥を実施した。

乾燥作業中の測定項目は、乾燥ハウス内空気温度(ハウス中央でコンクリート床面上1.8mと4mの高さ)と湿度、外気温度と湿度、ハウス外の日射量、乾燥機排风量、もみ温度(各乾燥機内もみ貯留槽上層、中層)、含水率、胴割れ率などであり、温度についてはデジタル多点温度記録計で10分ないし20分間隔に測定し自記させた。

B. 諸数値の計算法

今回は次のような簡便法によってそれぞれの数値を計算した。

1) 積算日射量

$$I_d = \sum_{j=1}^{h_1} I_s \quad \dots(3-1)$$

$$I_t = \sum_{j=1}^{h_1} I_s \cdot A_c \quad \dots(3-2)$$

ここで、 $I_d$ : 単位面積当たり1日の乾燥時間中の積算日射量(kcal)

$I_t$ : 集熱面積当たり1日の乾燥時間中の積算日射量(kcal)

$h_1$ : 1日の乾燥時間(=通風時間)(h)

$I_s$ : 水平面全天日射量(kcal/m<sup>2</sup>・h)

$A_c$ : 集熱面積(m<sup>2</sup>)

2) 集熱量

$$Q = \sum_{j=1}^{h_1} 60^2 \cdot \gamma_a \cdot C_a \cdot \Delta T \cdot V_i \quad \dots(3-3)$$

ここで、 $Q$ : 1日の乾燥時間中の集熱量(kcal/day)

$r_a$ : 空気比重量(kg/m<sup>3</sup>)

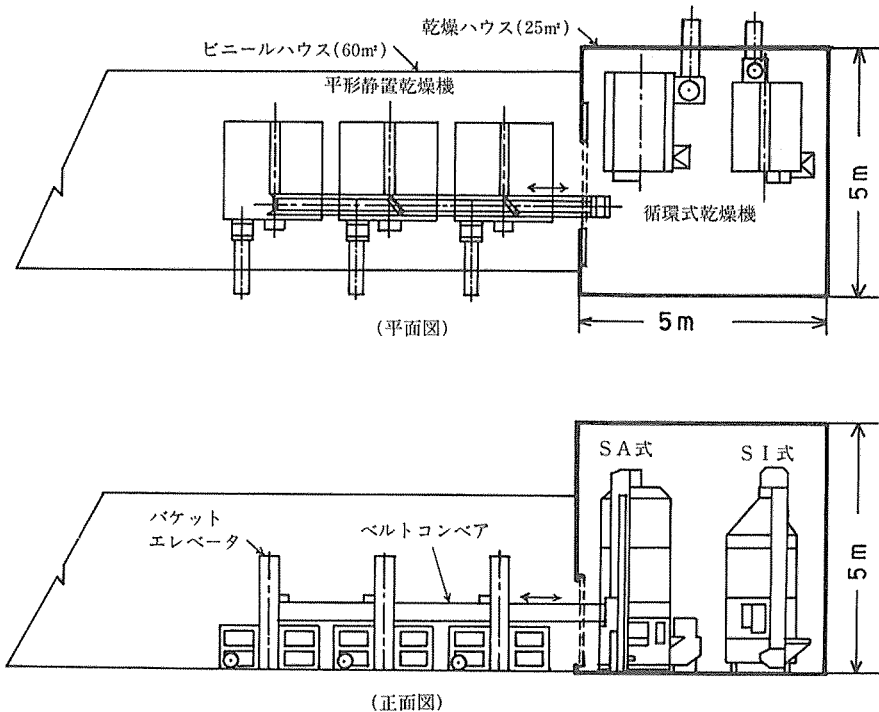


図3-3 太陽集熱ハウス内の乾燥機配置図

Fig. 3-3. Layout drawing of the grain dryers in the solar heat collecting houses.

$C_a$ : 空気比熱 (kcal/kg $\cdot$ °C)  
 $\Delta T$ : 空気温度上昇 (ハウス内空気温度-屋外空気温度) (°C)  
 $V_f$ : 乾燥機全体排風量 (m $^3$ /sec)

$w_i, w_f$ ; 乾燥開始前, 開始後の含水率 (%w. b.)

3) 集熱効率

$$\eta_c = \frac{1}{h_1} \sum_{j=1}^{h_1} \frac{60^2 \cdot \tau_a \cdot C_a \cdot \Delta T \cdot V_f}{I_s \cdot A_c} \times 100(\%) \quad \dots(3-4)$$

ここで,  $\eta_c$ : 集熱効率 (%)

4) 穀物水分蒸発量

穀物の乾燥前重量  $W_1$  (kg) と乾燥後の重量  $W_2$  (kg) の実測値より

$$V_w = W_1 - W_2 \quad \dots(3-5)$$

$$V_w = W_1 \left( 1 - \frac{100 - w_f}{100 - w_i} \right) \quad \dots(3-5)'$$

ここで,  $V_w$ ; 穀物水分蒸発量 (kg)

今回の実験ではすべて集熱に利用したハウスの床面積を集熱面積として計算した。

C. 実験と実験結果

もみ乾燥実験は本学附属農場でもみをコンバイン収穫した58年9月6日から17日までと, 10月1日より11日までの間で, 前後7回, 合計約 12 ton の生もみ乾燥を実施した。

図3-4は9月上中旬の, 図3-5は10月上旬に実施した実験期間中の日時, 天候, 乾燥機別の乾燥機内もみ滞留時間 (☞矢印は投入から取出しまでの時間帯を示し, 数字はもみ投入回数を示す), ハウス内外温度, 積算日射量, もみ含水率などの経時変化を示し, 下側の図は相対湿度の経時変化を示している。

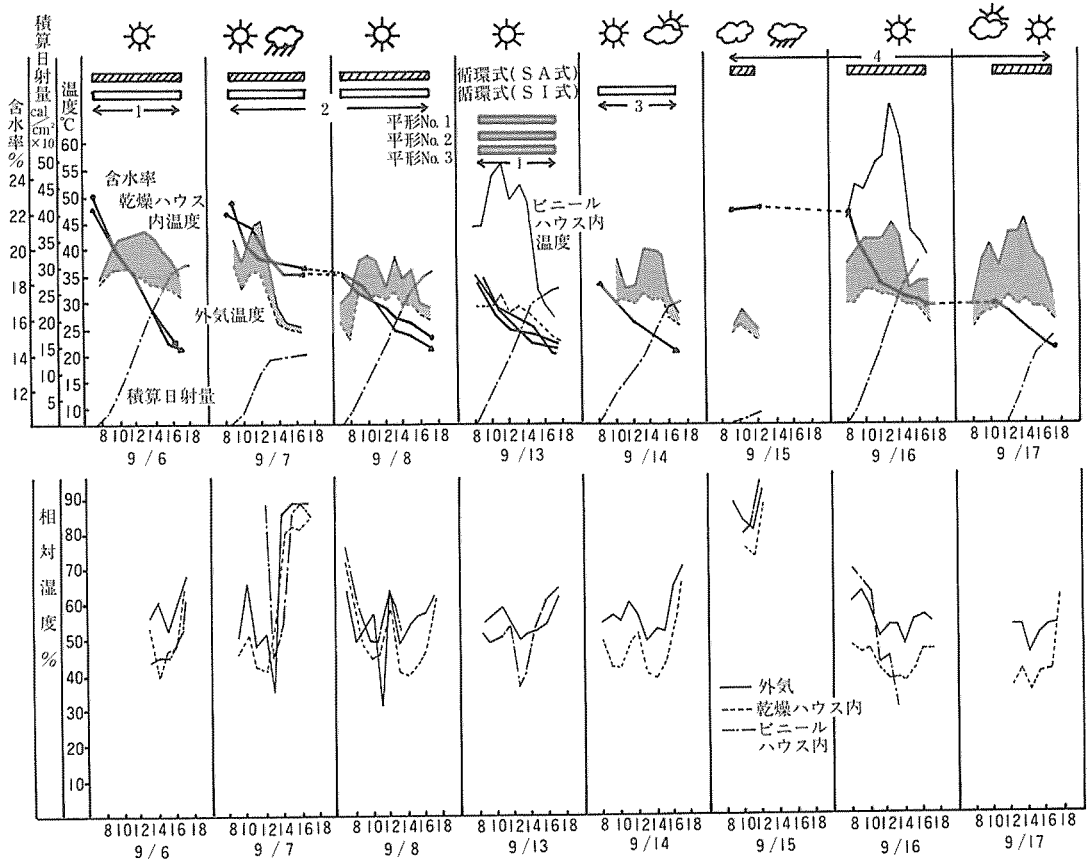


図3-4 乾燥ハウス内通風乾燥時の日射量, ハウス内・外温湿度, もみ含水率などの経時変化 (昭和58年9月)  
 Fig. 3-4. Hourly changes of solar radiation, inside and outside air temperature and humidity, moisture content of paddy rice, etc. under the forced-air drying in the drying house. (Sep. 1983)

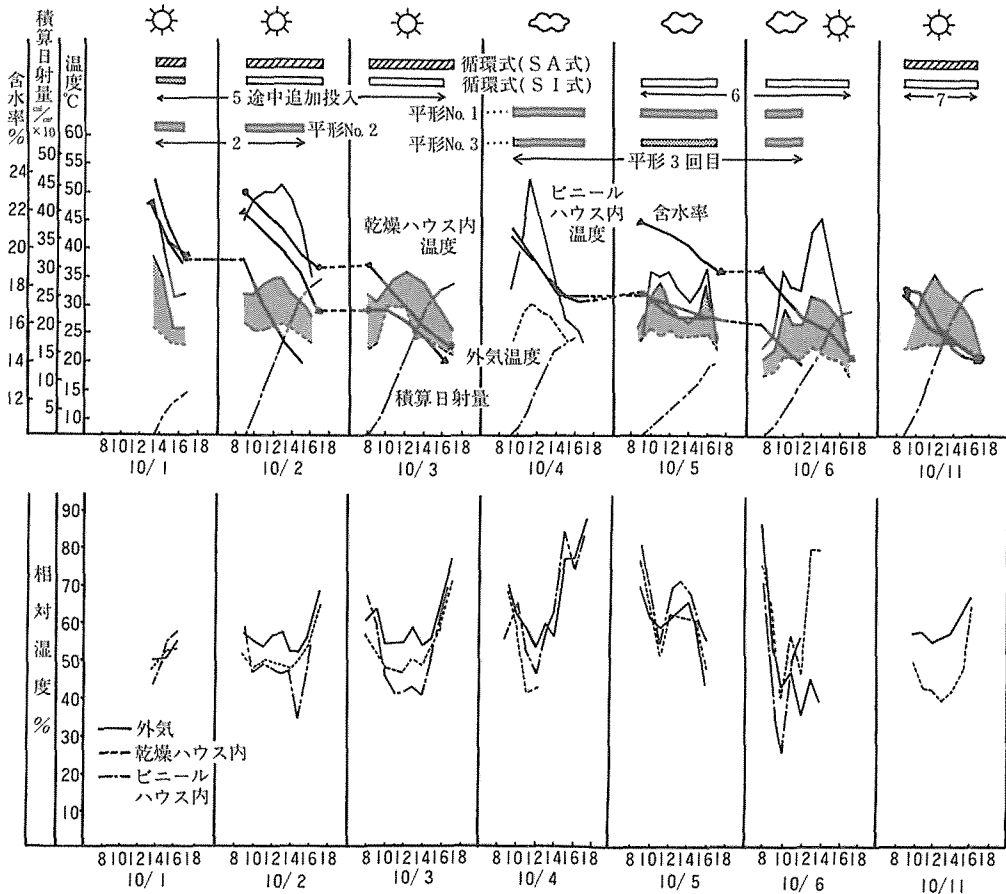


図3-5 乾燥ハウス内通風乾燥時の日射量，ハウス内外温湿度，もみ含水率などの経時変化（昭和58年10月）  
 Fig. 3-5. Hourly changes of solar radiation, inside and outside air temperature and humidity, moisture content of paddy rice, etc. under the forced-air drying in the drying house. (Oct. 1983)

表3-2 循環式乾燥機による実験測定値(昭和58年秋)

	乾燥機	張込量 (kg)	初期含水率 (%W. b.)	終了時含水率 (%W. b.)	通風時間 (h)	乾減率 (%/h)	集熱面積 (㎡)
1回目 (9月6日)	S A	546.6	22.3	14.3	9.5	0.84	85
	S I	679.6	23.0	14.4		0.86	
2回目 (9月7日~8日)	S A	991.8	22.4	14.9	19.0	0.40	85
	S I	1175.5	22.3	14.3		0.42	
3回目 (9月14日)	S I	1420.6	18.0	14.0	9.0	0.44	25
4回目 (9月15日~17日)	S A	1565.0	22.0	14.2	18.0	0.42	25
	S I	1473.8	22.1	14.0		0.40	
5回目 (10月1日~3日)	S A	1176.9	22.8	14.8	20.2	0.39	25
	S I	1473.8	22.1	14.0		0.40	
6回目 (10月5日~6日)	S I	1716.9	21.5	14.5	17.2	0.41	25
7回目 (10月11日)	S A	640.8	17.9	14.3	7.9	0.45	25
	S I	793.2	17.5	13.9		0.47	
合計		12180.7					
平均		1107.3	21.1	14.3	14.5	0.50	

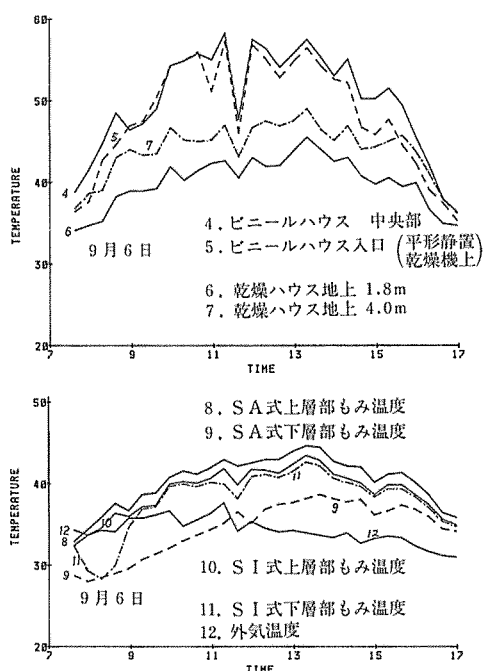


図3-6 乾燥ハウス、ビニールハウス内外温度、循環式乾燥機内もみ温度の経時変化測定例

Fig. 3-6. Some examples of measurement of hourly changes of paddy rice temperature in a circular and inside and outside air temperature in the green houses.

表3-2は循環式乾燥機による実験測定値や計算値を一覧表にしたものであり、各回毎のもみ張込量、初期・終了時含水率、通風時間、乾減率、集熱面積や集熱量などをあらわしている。

また、図3-6は乾燥実施日の各部温度の経時変化測定値の1例である。

#### IV. 実験結果の考察

##### A. 循環式乾燥機における乾燥速度と乾燥所要時間

ここでの実験は農家が実際に太陽熱利用で乾燥作業を実施する場合を想定してなるべくそれに近い状態で実験を行なったのであるが、表3-2でみられるように平均乾減率は0.5%/h内外であり、その値は57年度に循環式乾燥機1台を使って実施した測定値と比べて実質的な差はなかった。そして初期含水率が低く投入量の少ないときは1日間で、それらがともに多いときは日中2日間、平均14時間の通風で乾燥は終了している。

これをもう少し詳しく見ると、第1回目の実験(9月

7日)は集熱面積が85m<sup>2</sup>と広いうえに投入量も少なく積算日射量も多かったので乾減率が平均0.85%/hと格段に大きな値を示しているが、反面胴割れも多くみられた。それでこの回の測定値を特殊な場合と考慮して除外し、あとの6回の平均値を求めると0.42%/hとなって57年度の実験値より平均0.04%/h小さな値となる。この差は微少であり、また58年度の実験でも1台だけで乾燥した3, 4, 6回の乾減率と2台同時運転の2, 5, 7回の乾減率の間にもその差は0.002%/hに過ぎない。したがって、25m<sup>2</sup>の乾燥ハウス内で循環乾燥機1台を稼働したときと、2台稼働させたときの間には乾燥速度に実質的な差はないと言えよう。この結果や乾燥ハウスの集熱性能測定の結果からみて25m<sup>2</sup>の乾燥ハウスで2台の乾燥機の稼働は可能であると判断できる。そしてこれを可能にしたのは背の高い乾燥ハウスの集熱可能量が通常のビニールハウスに比べ格段に多いことによることであとから判ってきたのである。

##### B. 乾燥に関する諸要因とその影響度

太陽熱利用乾燥において穀物の乾燥速度に影響する要因は数多くあるが、主なものは積算日射量、通風量、乾燥機内通風面積、集熱面積、張込量などである。

今回の実験は自変数的要因としての集熱面積が25m<sup>2</sup>と85m<sup>2</sup>(このうち25m<sup>2</sup>は乾燥ハウスで60m<sup>2</sup>はビニールハウス面積)、乾燥機内乾燥室の通風面積が1.8m<sup>2</sup>(57年度導入SA式)と5.5m<sup>2</sup>(58年度導入SI式)で1:3の差があったのをはじめ、穀物張込量も満たん率〔=(投入量/投入可能量)×100(%)〕で表示して26%から75%と大きくちがう場合について、つまり各種の要因が入り乱れて存在するなかで、しかも刻々変動する日射量のもとで乾燥作業を実施したので、厳密な意味での乾燥速度とそれに関する各種要因との相互関係をはっきりさせることは実験回数も少ないこともあって不可能に近いと考えていた。

ところが、そのような中にあっても要素間の関係をグラフにプロットしてみると、影響力の大きい要素は他の要因による変動を乗り越えてははっきりとしたある一定の相関関係を示すことがわかってきたので、いろいろな角度から調べてみることにした。次にその結果について述べることにする。

##### B-1 積算日射量と乾燥速度(乾減率)の関係

図3-7は集熱ハウスの単位集熱面積当りの日射量を1

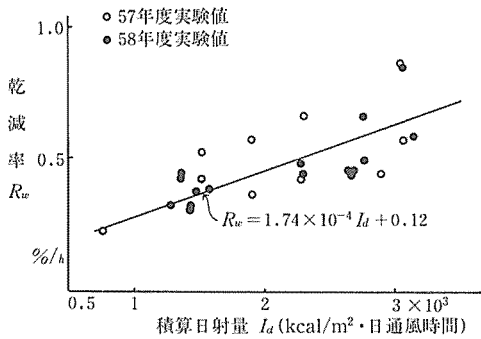


図 3-7 積算日射量と乾減率の関係

Fig. 3-7. Relationship between the cumulative solar radiation and the drying rate for paddy rice.

日の乾燥時間だけ積算したところの積算日射量  $I_d$  (kcal) と乾減率  $R_w$  (%/h) の関係を 58 年と 57 年度についてプロットしたものである。

$I_d$  と  $R_w$  の間には

$$R_w = 1.74 \times 10^{-4} I_d + 0.12 \quad \dots(3-6)$$

の関係があり、乾燥速度は日射量に比例して直線的にゆっくりと増加することがわかる。実験値にばらつきが多いのは集熱面積や通風量などがそれぞれ異なる場合の実験値であるため、それらの要因による影響が誤差のような形であらわれてきているためと考えられる。

### B-2 積算日射量と集熱量の関係

図 3-8 は集熱面積  $A_c$  当りの日射量を 1 日の乾燥時間積算した積算日射量  $I_t$  (kcal) と集熱量  $Q$  (kcal) の関係をあらわしている。この図にも 57 年度循環式乾燥機を使用した乾燥ハウスで得た実験値を併せて記入をした。

$I_t$  と  $Q$  の関係は 57, 58 年度合せた実験値では、

$$Q = 0.63 I_t + 2.23 \times 10^4 \quad \dots(3-7)$$

となって集熱量は積算日射量に比例して増加している。

57 年度の値は 58 年度の実験値に比べて若干小さいが、これは乾燥機 1 台 (57 年度) と 2 台同時運転 (58 年度) による通風量の差が集熱量の差に関与しているためと考えられる。

### B-3 集熱量と穀物水分蒸発量の関係

図 3-9 に示されるように、穀物水分蒸発量もほぼ集熱量に比例して増加する。両者の関係は本実験の測定領域についてみると

$$V_w = 7.2 \times 10^{-4} Q + 25.0 \quad \dots(3-8)$$

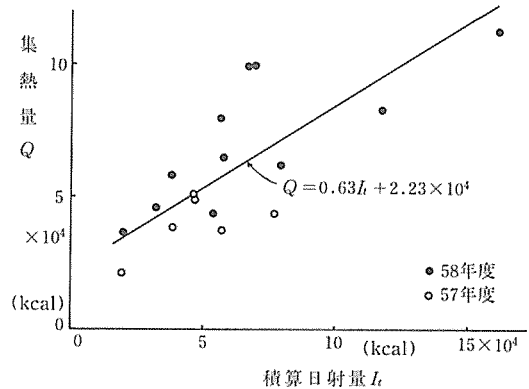


図 3-8 積算日射量と集熱量の関係

Fig. 3-8. Relationship between the cumulative solar radiation and the quantity of heat delivered by the solar system.

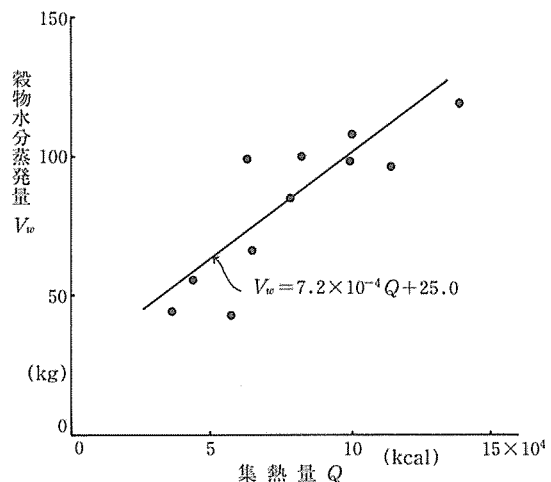


図 3-9 集熱量と穀物水分蒸発量の関係

Fig. 3-9. Relationship between the quantity of heat delivered by the solar system and the amount of grain moisture evaporated.

となる。ここで、 $Q$  は 1 日の乾燥時間当りの集熱量 (kcal) であり、 $V_w$  は乾燥 1 日当りの穀物水分蒸発量 (kg) である。

図 3-10 は集熱量  $Q$  と穀物水分蒸発 1 kg 当りの集熱量の関係、つまり穀物水分 1 kg を蒸発させるに要する付加熱量  $Q_u$  (kcal/kg) の関係をあらわしている。これをみると集熱量 1000 kcal 当り約 1 kg の穀物水分蒸発量となっている。そしてその値は集熱量が多いときに大きな値を示すので集熱量の少ないときに熱効率のよい乾



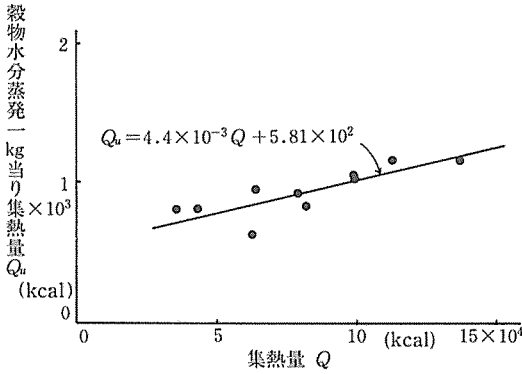


図 3-10 集熱量と穀物水分蒸発 1 kg 当り集熱量の関係

Fig. 3-10. Relationship between the quantity of heat delivered by the solar system and the quantity of heat needed to evaporate 1 kg of the moisture contained in grain.

燥が行なわれることがわかる。そして集熱量に対する水分蒸発量の割合はビニールハウス内平形静置乾燥機で得られた値とほぼ同じであるが、〔乾燥ハウス+循環式乾燥機〕の組合せでは集熱量が多いため乾燥ハウス単位面積当りの水分蒸発量は〔ビニールハウス+平形静置乾燥方式〕に比べ格段に多い結果となっている。

B-4 通風量と穀物水分蒸発量の関係

図 3-11 は集熱ハウス単位面積当りの通風量  $V_u$  ( $m^3/sec \cdot m^2$ ) (=風量面積比) と 1 日の乾燥時間・単位面積当りの水分蒸発量  $V_d'$  ( $kg/h \cdot m^2$ ) の関係を示している。両者の関係は  $V_d' = 42 V_u$  で表わされる。ここでの通風量は乾燥ハウス内で同時運転された乾燥機すべての通風

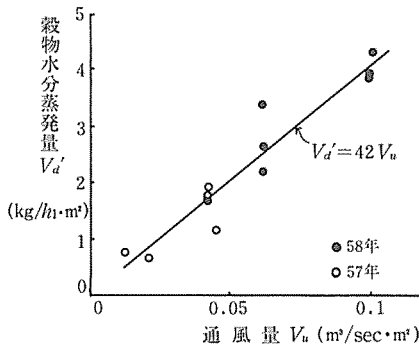


図 3-11 通風量 (=風量面積比) と穀物水分蒸発量の関係

Fig. 3-11. Relationship between the air flow rate per collector unit area and the amount of grain moisture evaporated.

量の合計を集熱ハウス面積で割った、つまり単位面積当りの通風量であり、水分蒸発量も同時稼動乾燥機の合計で  $1 \text{日} \cdot m^2$  当りの量を用いている。

図 3-11 をみると水分蒸発量はほぼ通風量に比例して直線的に増加していくことがわかる。本実験では各乾燥機の通風量は毎回ほぼ一定で乾燥作業をしているから、ここで通風量が増加するというのは同時運転の乾燥機台数が増加する時とか、通風量の多い乾燥機を使用する場合であり、そのときに水分蒸発量が増加するというのである。換言すれば、同時運転の乾燥機台数が増えるか、通風量の多い大型の乾燥機を使用するときは水分蒸発量が増加するというのである。

B-5 通風量と乾減率の関係

図 3-12 は乾燥穀物 100 kg 当りの通風量 ( $m^3/sec \cdot 100 \text{kg}$ ) (=風量穀重比) と乾減率  $R_w$  ( $\%/h$ ) の関係をあらわしたものである。

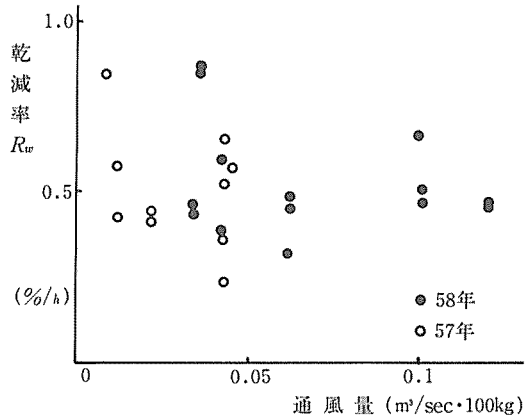


図 3-12 通風量 (=風量穀重比) と乾減率の関係

Fig. 3-12. Relationship between air flow rate per unit weight grain and the mean moisture reduction rate of paddy rice.

本実験では各乾燥機の通風量はほぼ一定で乾燥作業をしていたが、投入量は毎回異なっていたので投入穀物 100 kg 当りの風量はそれぞれちがっていた。そこでこの関係を取り出してしてみると、その結果は平形静置乾燥機についての実験値を示した前報図 2-3 でもみられたのと同様に、両者の間には一定の傾向は見出せず、通風量が多いときでも乾減率はあまり変わらないことを示している。

B-4 項で述べた結果と本項での結果は一見矛盾してい

るように見えるが、前項の場合でも全体の水分蒸発量は増加するが個々の穀粒の乾燥速度はあまり増加していないのであり、図3-11の横軸の通風量を乾燥機台数とか、乾燥機の大きさ（大型乾燥機ほど通風量が多い）と置換えてみると理解しやすい。

B-6 乾燥機内乾燥部通風面積と乾減率の関係

57年度導入のSA式循環式乾燥機は乾燥室が2層であるが、58年度導入のSI式は4層であり、その通風面積は5.5m<sup>2</sup>と前者の約3倍である。今回の実験では2台同時運転を行なうときはいつも満たん率を同じにしたので、両者の乾減率の比較からこれの乾燥速度への影響を推定することができる。

そこで両者の実験結果をみると、通風面積の大きいSI式はSA式に比べ乾減率が平均値で0.02%/h高いが、その差は微小であり、しかもSI式がSA式に比べて通風量が多い状態で作業が行なわれていたから、この差は通風面積の大きさのちがいに基づく差であるとも言いがたい。したがって乾燥機通風面積の大きさは最初の予想に反して乾燥速度の向上に大きな影響がないとも考えられるが、この点に関しては更に多くの実験によって確かめる必要がある。

B-7 乾燥機張込量（満たん率）と乾減率の関係

この関係を見るために横軸に満たん率をとり、たて軸に乾減率をとって実験値をプロットしたのが図3-13である。いずれもテンパリング乾燥方式の乾燥機を使用しているので満たん率が低くなると調質室での滞留時間が

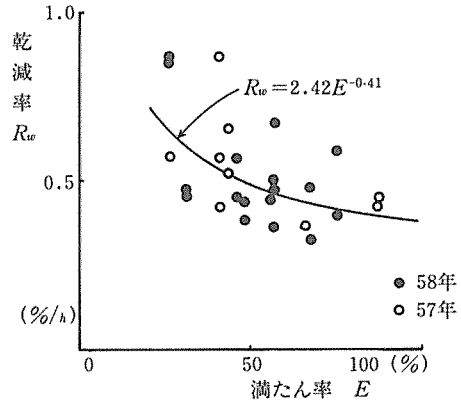


図3-13 満たん率と乾減率の関係

Fig. 3-13. Relationship between the moisture reduction rate and the quantitative ratio of the grain within a dryer to the holding capacity.

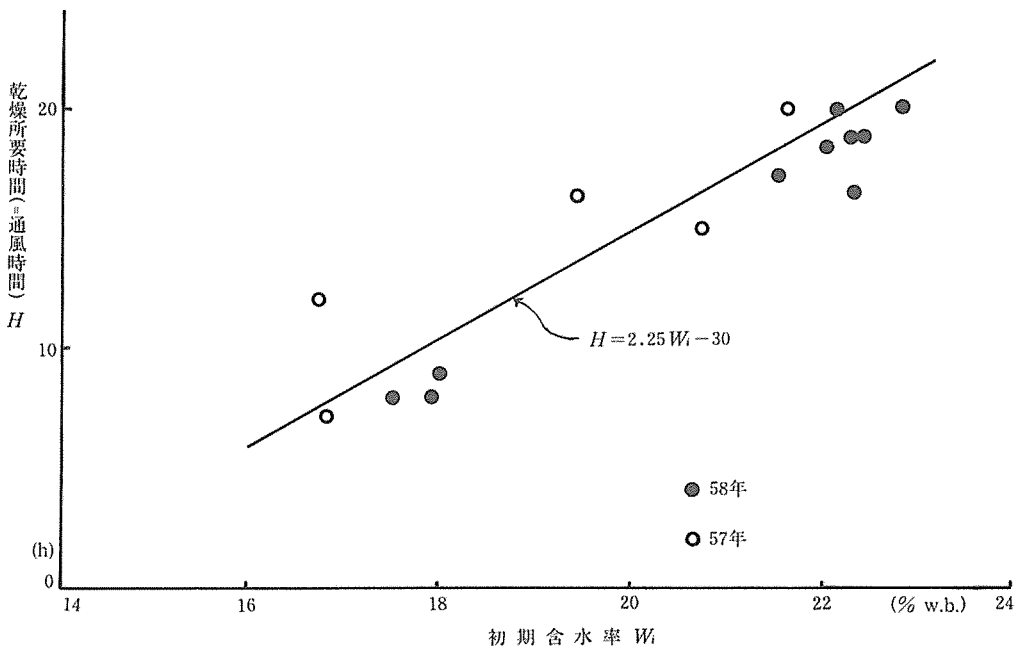


図3-14 初期含水率と乾燥所要時間の関係

Fig. 3-14. Relationship between the initial moisture content of grain and the hours required for drying per batch.

短かくなり、乾燥室で乾燥される時間間隔も短くなるので乾燥速度は速くなる結果となる。したがって、傾向としては満たん率を  $E(\%)$  とすると  $R_w = \alpha E^{-\beta}$  であらわされる関係にあり、本実験値では次式のようになる。

$$R_w = 2.42 E^{-0.41} \quad \dots(3-9)$$

B-8 初期含水率と乾燥所要時間の関係

図 3-14 は初期含水率  $W_1(\%/h)$  と通風所要時間  $H$  の実測値との関係を示している。両者の関係は近似的に

$$H = 2.25 W_1 - 30 \quad \dots(3-10)$$

であらわされる。これより乾燥所要時間はほぼ初期含水率の高さ、したがって除去水分量の大きさに比例して多くなっていることがわかる。よって初期含水率を下げることは乾燥所要時間の短縮に大きな効果があるから、収穫作業は圃場で穀物の含水率が低いときに行なう必要があると言えよう。

V. 論 議

ここでは、おもに58年度の〔乾燥ハウス+循環式乾燥機〕の実験結果と、55~56年度の〔ビニールハウス+平形静置乾燥機〕の実験結果を比較して、大きな差があった事項についてはその理由を考え、次いで太陽熱利用乾燥施設での穀物乾燥可能量についてもふれてみたいと思う。

A. 太陽熱利用乾燥ハウスの集熱可能量

〔乾燥ハウス+循環式乾燥機〕と〔ビニールハウス+平形乾燥機〕の実験結果を比較した場合、最も大きなちがいは、まず集熱ハウス単位面積当りの集熱量があげられる。

前者の集熱量が多い理由を考えてみると、ハウスの単位床面積当りの通風量が多く、かつ背の高い建物は日射を受ける面積がハウスの床面積よりかなり大きいことが浮び上がってくるので<sup>4)</sup>、これについて考察してみよう。

いうまでもなく集熱量は(3-3)式で求められるように乾燥時の通風量とハウス内温度上昇の積で与えられるから、両者とも大きいか何れかが大きい値であれば多くなる。

図 3-15 は57, 58年度〔乾燥ハウス+循環乾燥機〕の組合せと、同年実施した〔ビニールハウス+平形静置乾燥機〕でのみ乾燥実験で得た集熱量やハウス内空気温度上昇の測定値を自変数的要因である通風量をパラメー

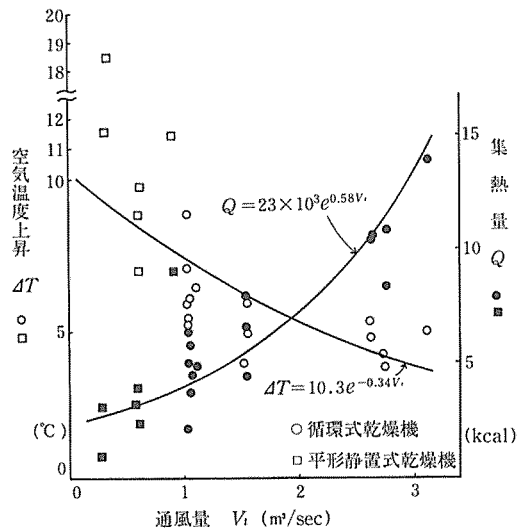


図 3-15 通風量と集熱量および温度上昇の関係  
Fig. 3-15. Relationships between the air flow rate, the quantity of heat delivered by solar system and the air temperature rise in the solar heat collecting house.

タとして図上にプロットしたものである。これを見ると集熱量は通風量が多くなるにつれて急激に増加するが、空気温度は逆に通風量の増加につれて徐々に減少していくことがわかる。

58年度〔乾燥ハウス+循環式乾燥機〕と58年度〔ビニールハウス+平形静置乾燥機〕の実験値を比較したとき、集熱量は前者は後者の丁度2倍であるが、通風量は前者は平均1.7 m³/secで後者の約3.6倍であり、温度上昇は5.3°Cで後者の半分弱となっている。このように〔乾燥ハウス+循環式乾燥機〕の場合、集熱量が多いのは通風量が多いことによることは明白である。しかし、これだけ通風量を多くしても温度上昇が平均5.3°C以上を保ち得たのはやはり背の高い乾燥ハウスの日射を受ける面積が床面積よりも大きく受熱量が多いからにはかならない。

本乾燥ハウスの集熱可能量がビニールハウスに比べて大きい結果として、最初懸念された25 m²の乾燥ハウスで2台の循環式乾燥機の太陽熱利用乾燥が可能であったし、また、ハウス面積当りの積算日射量に対する穀物乾燥時の穀物水分蒸発量が著しく多くなっている。図 3-16 はその事実を明瞭にあらわしており、ハウス床面積をベースとした積算日射量当りの水分蒸発量は乾燥設

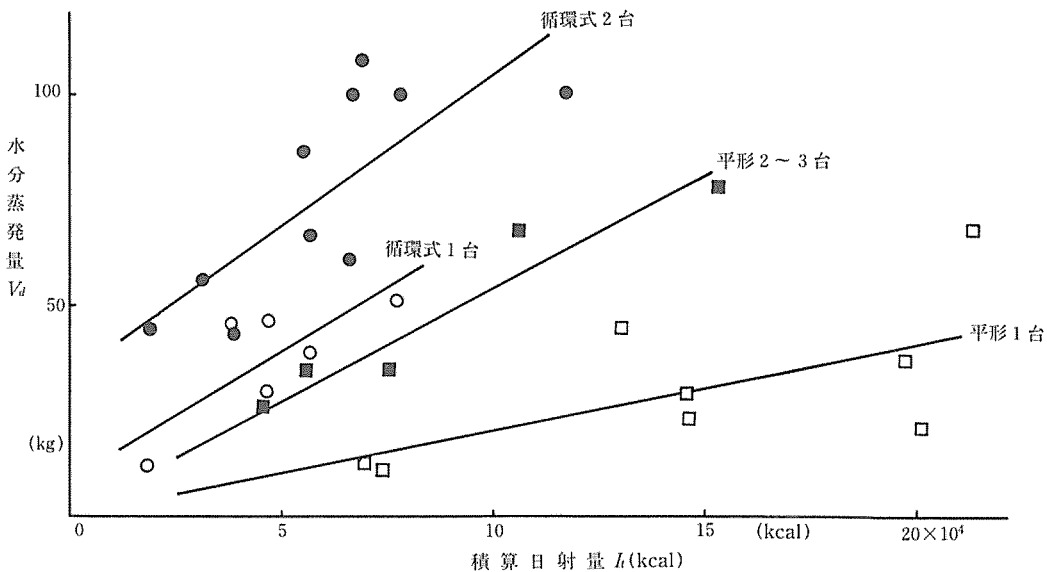


図 3-16 積算日射量と水分蒸発量の関係

Fig. 3-16. Relationship between the cumulative solar radiation and the amount of grain moisture evaporated.

備によって大きな差があることがよみとれる。この図から次のことが言える。

- 1) 〔循環式乾燥機+背の高い乾燥ハウス〕の場合は単位面積当りの集熱量が多いので穀物水分蒸発量も多い。
- 2) 同時稼働の乾燥機台数が増えると水分蒸発量も多くなる。また、通風量の多い循環式乾燥機は平形静置乾燥機に比べて穀物水分蒸発量も多い。

このように背の高い乾燥ハウスは床面積当りの集熱可能量が多いから穀物の太陽熱利用乾燥には極めて有利であり、敷地面積が狭い所でも太陽熱乾燥を可能にする。

#### B. 太陽熱利用穀物乾燥機によるもみ乾燥可能量

図 3-17 は横軸に乾燥機を稼働させた日数（1日当たり4時間以上通風した日は1日とし、それ以下の日は半日として計算した）を積算した値をとり、たて軸に乾燥仕上り穀物の累積量を年次ごとにプロットしたものである。58年度は循環式乾燥機2台を25m<sup>2</sup>の背の高い乾燥ハウス内へ設置してもみ乾燥した値であり、57年度は循環式乾燥機1台を同乾燥ハウス内に設置してもみ乾燥をしたときの値である。56年度は平形静置乾燥機3台を90m<sup>2</sup>のビニールハウス内へ設置して乾燥したときの値であり、また55年度は平形静置乾燥機1台を90m<sup>2</sup>のビニールハウス内へ設置して乾燥したときの値である。

もちろん循環式乾燥機と平形静置乾燥機では集熱ハ

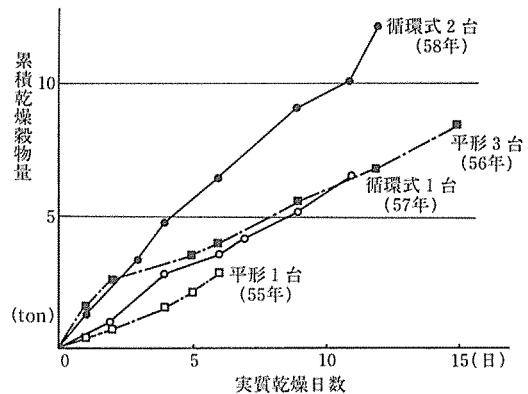


図 3-17 実質乾燥日数と累積乾燥穀物量

Fig. 3-17. Relationship between the net drying days and the total amount of grain dried.

スもそれぞれ異なるので概略の比較しかできないが、単純に考えて図から言えることは次のようなことである。

- 1) 乾燥機の稼働台数を増加すると乾燥仕上り量はいずれの場合にも増加する。
- 2) 循環式乾燥機1台の投入可能量は丁度平形静置乾燥機3台分と同じであったが、乾燥処理量も循環式1台と平形3台とほぼ同じであった。

これを集熱面積当りの乾燥量で見ると、背の高い乾燥ハウスはビニールハウスに比べ単位面積当り2~3倍の穀物乾燥能力をもっていることになるが、ビニールハウ

スでも乾燥機稼働台数を増加すればこの差は縮まるものと思われる。

さらにこの図から生もみ 5 ton (約 1 ha の収穫量) を 25 m<sup>2</sup> の乾燥ハウス内で循環式乾燥機 2 台を使って乾燥すると約 5 日間で、同じく 1 台では 9 日間で、平形静置乾燥機 3 台では 8 日間で乾燥できるといった数値が読みとれる。57~58 年度の実験では、ともに実験期間中に乾燥もみが不足して乾燥機がフルに稼働できなかったから、乾燥可能量という観点からみるとここでの実験値はかなり余裕のある数値である。

9 月~10 月の中部地方の日照率を 0.45 とすると、実際には上記日数の 2 倍強の日数を必要とする。さらに 2 ha 栽培の農家であればその倍の日数がかかる計算になるが、それでも収穫適期間中に十分乾燥を終了できる日数ではある。

いずれにしろ太陽熱利用による乾燥は気まぐれな天候によって大きく左右されるが、根気よくこれを利用するようつとめれば必ず穀物乾燥は石油を使わないでも収穫適期間中にできることを本実験は実証したと言えよう。

当然のことではあるが、集熱用乾燥ハウスには日光がよく当たるよう周囲、ことに南や東西に建物や木立などの日射をさえぎる障害物のない所へ建てる必要がある。

## VI. 摘 要

1) 写真 3-1 のような背の高い乾燥ハウス内に循環式乾燥機を設置し、太陽熱で加熱されたハウス内温熱空気を乾燥機が吸引し、穀物層を通したのちハウス外へ排風するという方式によって、直接石油を使うことなく穀物を乾燥する実用規模の実験を昭和 57 年と 58 年度に実施した。

2) 日射量や乾燥機への穀物投入量、もみの初期含水率などがそれぞれ異なる場合について上記の乾燥を繰返し実施したが、その平均の乾燥速度はおおむね 0.4~0.5 %/h であり、晴天ならば日中 1~2 日間の通風で乾燥は終了できた。

3) 穀物の乾燥速度は日射量にほぼ比例して増加し、かつ集熱量とも密接な関係があることがわかった。乾燥ハウス内で稼働する乾燥機台数をふやすとハウス面積当りの穀物量や通風量が増加し、一定時間内で蒸発する穀物水分量も増加する。

4) 穀物乾燥 1 回当りの乾燥所要時間は除去水分量に

比例するので初期含水率が高いほど多くなる。したがって、含水率の低いときに収穫すると乾燥時間は節減できる。

5) 本実験の範囲では集熱面積や乾燥機内通風面積の乾燥速度への影響は微小であった。

6) 集熱量は積算日射量に比例して増加し、穀物水分蒸発量は集熱量に比例して増加する。穀物水分 1 kg を蒸発させるのに費された付加熱量(集熱量)は約 1000 kcal であった。

7) 写真 3-1 のような背の高い乾燥ハウスの集熱可能量は従来のビニールハウスに比べて著しく多かった。そのため 25 m<sup>2</sup> の乾燥ハウス内で循環式乾燥機 2 台の同時運転による太陽熱利用の穀物乾燥が可能であった。

## VII. 結 言

循環式乾燥機を用いた 2 ケ年間にわたる実用規模の太陽熱利用もみ乾燥実験によって、乾燥ハウスの集熱性能や循環式乾燥機によるもみ乾燥速度や処理量などの作業性能及び太陽熱利用穀物乾燥の特徴などを部分的だがある程度解明できたと考える。

本方式は化石燃料を要せず、所要労力も少ないという利点があるうえ、乾燥速度や処理可能量の面でも現在の稲作機械化作業体系へ組み込めるだけの能力を有すると考えられる。したがって、乾燥ハウスを含む乾燥装置の多目的利用などによって経済性を向上できれば省エネルギー乾燥法として実用化の可能性は十分にあると思われる。

今回使用した循環式乾燥機は火力乾燥用として製作されたものの流用であるから、太陽熱利用による乾燥に利用した場合、不都合な点や不必要な装置も少なくなかった。今後太陽熱乾燥に適する循環式乾燥機をあらたに製作するか、現在の乾燥機を太陽熱用に改良すればもっと熱効率もよくなり同じ日射量のもとでも乾燥能力が一段と向上するものと思う。もし太陽熱乾燥専用機ならば、火災の危険や過乾燥のおそれも少ないから安全装置や運転制御装置なども不要となるか現在のものよりも単純化でき、乾燥機を火力用よりも安価に製作できる可能性がある。

いずれにしても経済性が太陽熱利用の最大の問題点であると一般には考えられているが、設備の仕方や利用方法によっては経済性は大きな問題でないようにできる可能性もあると思うので、これについては稿をあらためて

論ずる所存である。

#### 参 考 文 献

- 1) 中川, 堀部, 大下, 川村; 太陽エネルギーによる穀物乾燥 (V~VI) エネルギー特別研究「農業におけるエネルギーの有効利用の研究」昭和57年度研究成果報告書 p. 219~222 (1983)
- 2) 中川, 堀部, 大下, 平岡, 中沢, 細井; 太陽熱利用による穀物の人工乾燥 農業機械学会 関西支部報 No. 54 p. 109~110 (1983)
- 3) 中川, 堀部, 大下, 川村; 太陽エネルギーによる穀物乾燥 (VII) エネルギー特別研究「農業におけるエネルギーの有効利用の研究」昭和58年度研究成果報告書 p. 165~168 (1984)
- 4) 小倉祐幸; 在来種たばこ乾燥室における日射量利用 農業施設学会誌 vol. 7, No. 1 p. 4~8 (1976)
- 5) 中川, 堀部, 大下, 加藤, 若林, 織田; 太陽熱利用による穀物の人工乾燥 (I) 三重大学農学部学術報告 第66号 p. 233~246 (1983)
- 6) 中川, 堀部, 大下; 太陽熱利用による穀物の人工乾燥 (II) 三重大学農学部学術報告 第66号 p. 247~256 (1983)

#### Summary

1) In 1982 and 1983, using circulation-type grain dryers installed in a tall frion-covered greenhouse shown in photo 3-1, an experimental study on drying of paddy rice with solar energy was conducted on a practical scale.

In this system, the hot air in the tall frion-covered greenhouse heated by solar energy was forced to flow through the grain layer out into the atmosphere.

2) Drying test of paddy rice was repeated under various conditions such as solar radiation, grain volume, initial water content, etc.

From the results, the average moisture reduction rate was calculated to be about 0.4~0.5 %/h, and in fair weather, paddy rice was dried sufficiently by forced air ventilation during the daytime in 1 or 2 days.

3) The moisture reduction rate of grain increased almost linearly with the increase in solar radiation, and was closely related to the amount of solar heat collected.

With increase in the number of dryers in operation, the amount of air ventilated increased. As a necessary consequence, the amount of grain which can be dried per unit floor area increased, that is, the amount of water evaporated from grain per unit time increased.

4) The time required for drying grain was proportional to the amount of water to be evaporated. Therefore, when grain with low moisture is harvested, the drying time will be shortened.

5) Within the range of the present experimental conditions, the moisture reduction rate was affected very slightly by the heat-collecting area and the area of air flow within the dryer.

6) The amount of solar heat collected increased in proportion to the amount of solar radiation, and the amount of moisture evaporated from the grain increased in proportion to the amount of solar heat collected.

The sum of energy (the amount of solar heat collected) required to evaporate 1 kg of moisture in grain was about 1000 kcal.

7) It was found that the amount of solar heat collected by the tall frion-covered greenhouse is remarkably larger than that collected by the conventional vinyl-covered greenhouse. This enabled two circulation-type grain dryers to be operated simultaneously for drying the grain without using petrolem in the tall frion-covered greenhouse, having a floor area of 25 m<sup>2</sup>.