

太陽熱利用による穀物の人工乾燥（Ⅰ）：ビニールハウスを集熱器としたもみの通風乾燥

著者	中川 健治, 堀部 和雄, 大下 誠一, 加藤 公一, 若林 伸幸, 織田 雅良
雑誌名	三重大學農學部學術報告 = The bulletin of the Faculty of Agriculture, Mie University
巻	66
ページ	233-246
発行年	1983-03-01
その他のタイトル	Artificial Drying of Grain with Solar heated Air (Part 1) : Forced-air Drying of Paddy Rice using the Green House as a Solar Collector
URL	http://hdl.handle.net/10076/3436

太陽熱利用による穀物の人工乾燥 (I)

ビニールハウスを集熱器としたもみの通風乾燥

中川健治・堀部和雄・大下誠一・加藤公一・若林伸幸・織田雅良

Artificial Drying of Grain with Solar heated Air (Part 1)

Forced-air Drying of Paddy Rice using the Green House as a Solar Collector

Kenji NAKAGAWA, Kazuo HORIBE, Sei-ichi OSHITA, Koichi KATO
Nobuyuki WAKABAYASHI and Masayoshi ORITA

目 次

I 緒 言	233
II ビニールハウス利用もみ乾燥実験	235
A. 予備実験の概要	235
B. もみ連続乾燥実験	235
B-a 実験装置と実験方法	235
B-b 集熱量, 集熱効率の計算法	237
B-c 実験および実験結果	238
B-d 実験観察事項および考察	238
1. 乾燥装置の処理能力について	238
2. 積算日射量と集熱量・穀物水分蒸発量の関係について	243
a. 積算日射量と集熱量, 穀物水分蒸発量の関係	243
b. 集熱量と穀物水分蒸発量の関係	243
c. 積算日射量と水分蒸発量の関係	243
III 論 議	244
IV 摘 要	245
謝 辞	245
参考文献	246
Summary	246

I 緒 言

穀物生産過程のなかで現在最も多くの石油を消費しているのが乾燥作業であるが、昭和48年10月の第一次石油危機以来、石油価格の高騰とその枯渇への対応策として石油消費の少ない人工乾燥への転換が必要となり、穀物乾燥機の省エネルギーを目的とした改良はもとより、その熱源として太陽熱やもみがらなどの自然エネルギーを利用する方法が真剣に考えられるようになってきた。¹⁾

昭和57年10月30日 受理

本研究は穀物の乾燥作業に、より多くの太陽熱を利用することによって乾燥に要する石油消費をできるだけ少なくする方法を見出すことを研究目的としているが、一口に穀物乾燥への太陽熱利用といっても現在わが国における稲麦類の一般的な収穫方法は自脱コンバインによって圃場で収穫と同時に生脱穀する方法であり、また、農業労力も一昔前に比べると激減しているため、かつての天日乾燥のような労力を多く必要とする方法にはもはや戻り得ない状況にある。²⁾したがって、人手を要せず、しかも最近の機械化稲作作業体系の中に組み込めるだけの作業能力をもち、かつ、化石エネルギーをあまり必要としない乾燥方法を見出して乾燥を行なうほかはない。

ここでは一つの試みとして通風乾燥機とビニールハウスを使い、乾燥の熱源として太陽熱をできるだけ多く利用することによって化石燃料の節減をはかる方法について実験をする。具体的には穀物乾燥が通常大量の空気を石油バーナーで加熱し、それを穀物中に送り込んで乾燥している点に着目し、その空気を太陽集熱器内で加熱することによって空気の相対湿度を下げ、その乾燥能力を高めて穀物の乾燥を促進させるという方法である。

さいわい穀物乾燥は比較的低温の熱源でよいため太陽熱の利用し易い温度領域であるが、反面太陽熱は希薄であり、かつ一日のうちでもごく限られた昼間の時間帯でしか利用できないうえ天候に左右されることも大きく、蓄熱も困難という不便さがある。しかも乾燥には多量の熱エネルギーを必要とするが、一般に太陽集熱器よりの集熱量は受熱面積にほぼ比例して増大するから日照中はできるだけ広い面積から熱を集める必要がある。した

がって、広い面積の集熱器がつくり易く、しかも、そのための設備費や維持費が少なく、その上それが多目的に使えるようなものが望ましい。この条件にかなうもの一つとして、すでに稲苗の育苗や園芸用に広く用いられているビニールハウス、およびこれに類するファイロンハウスなどがあげられる。そしてこれを集熱器としてこれが本来の使用目的に使われない期間を穀物の乾燥作業に利用することが考えられる。それでここではこれらを集熱器として実用規模の穀物乾燥実験を試みる。

この方法が省エネルギー技術として部分的にしる一般に利用されるためには、次の3つの条件、すなわち1) 太陽熱利用によって短時間に穀物乾燥が出来ること。2)

経済的にみて他の熱源を利用した乾燥方法より割り高にならないこと。3) エネルギー収支がプラスであること、つまりこれが設備製作に要するエネルギーを含めた投入エネルギーとそれから得られるエネルギー量とを比べたとき、後者のほうが多いことなどの条件を満足することが必要である。これらの点から検討してみてもどのような設備をつくり、それをどのような利用の仕方をしたときそれぞれの必要条件をより多く満たし得るかを明確にしていくなかで、所与の条件下で最も適当な太陽熱利用の乾燥方式を見出していきたいと考える。このような研究を積重ねていくうちにやがて太陽熱利用での望ましい穀物乾燥設備とその利用方法、およびその実用性の程度が次

表1-1 もみ人工乾燥実験の測定値(昭和55年10月)

Table 1-1. Measured values obtained from the experiments on artificial paddy drying conducted in Oct. 1980.

投入回数		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
試験月日		10月3日	10月4日	10日16~17日	10月28日	10月29日
乾燥前もみ重(kg)		400.0	390.0	733.0	600.0	677.7
" もみ水分(% w. b.)		18.90±0.36	18.70±0.20	20.66±0.24	16.54±0.05	15.69±0.21
" 胴割率(%)		1.2	0.0	0.0	0.2	0.2
通風量(m ³ /sec)		0.250	0.259	0.220	0.227	0.235
風通量(m ³ /sec·100kg)		0.063	0.066	0.030	0.038	0.035
通風時間(h)		4.17	6.00	6.33	5.00	3.00
外気温湿度	気温変動(°C)	21.1~24.3	22.3~24.7	18.1~25.7	14.4~17.2	11.8~16.7
	平均気温(°C)	23.5	23.6	21.2	15.3	14.9
	空気湿度変動(%)	37.5~55.0	45.5~61.0	63.5~77.5	45.0~61.5	44.5~78.0
	平均空気湿度(% RH)	42.9	51.5	71.2	54.7	52.5
吸気温度	もみ層表面温度変動	22.6~41.3	37.8~41.5	23.8~47.8	18.6~36.8	19.2~31.6
	平均もみ層表面温度(°C)	39.3	38.1	34.8	24.9	25.8
全日射量(kcal)		1,627	2,282	1,450	816.9	782.4
乾燥後もみ重(kg)		377.8	369.1	689.2	589.1	665.2
" もみ水分(% w. b.)		14.2±0.06	14.2±0.49	15.71±0.21	15.00±0.58	14.11±0.58
" 胴割率(%)		3.4	0.7	2.0	0.7	0.7
平均乾減率(%/h)		1.15	0.77	0.78	0.31	0.53
通気時間中の積算日射量(kcal)		146,430	205,380	130,500	73,521	70,416
集熱量(kcal)		18,245	24,960	21,531	12,287	8,736
集熱効果(%)		12.5	12.2	16.5	16.8	12.4
集熱面積穀重比(m ² /100kg)		22.50	23.08	12.28	15.00	13.28

(備考) 品種はウコンニシキ(3, 4日), アキバレ(16日~), 張込方法はばら積, ビニールシートの太陽光透過率は77%

第に明らかになっていくものと思う。ここでは、まず以下に述べる太陽熱利用による乾燥方法が現在の機械化収穫調製作業体系の中に組み込めるだけの乾燥速度と処理量を有するかどうかをはっきりさせたいと考える。

II ビニールハウス利用もみ乾燥実験

A. 予備実験の概要^{3,4)}

昭和55年度に園芸用ビニールハウスの多目的利用の一環として、その不使用期間にこれを太陽集熱器として利用し穀物乾燥を行なうという想定のもとに、90 m² のビニールハウス1棟を本学附属農場トラクタ総合試験場敷地内に建て、その中に平形静置乾燥機1台を置いて図1-1に示すようなハウス内温熱空気をもみ層を通して吸引し、もみの通風乾燥を行なう実験を実施した。

表1-1と図1-2はそのときの測定値をあらわしたものである。その結果、晴れた日ならば平均毎時乾燥率が0.71%/hで初期含水率18%から仕上げ時含水率14%まで乾燥するのに約5時間、うすぐもりの日で約8~10時間という短時間に乾燥が終了し、現在の機械化収穫作業体系の中にこの太陽熱利用乾燥が組み込めるだけの乾燥速度と容量が得られる可能性のあることを見出し得た。

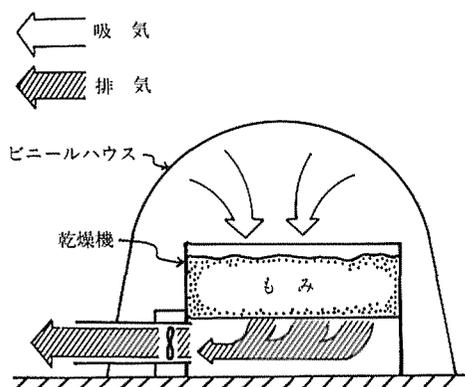


図1-1 ビニールハウス利用もみ乾燥方法の模式図
Fig. 1-1. Schematic drawing of the grain drying method using the green house as a solar collector.

B もみ連続乾燥実験⁵⁾

昭和56年度は前回と同じビニールハウスを使い、乾燥機を3台としたときこの設備で一定量の穀物を何日間乾燥できるかを調べることによってどれだけの量の穀物

を1シーズン中に太陽熱乾燥できるかということと、実用規模で連続的に太陽熱乾燥したときどうい問題が生じてくるかといったことを知るための実験を行なった。この実験は一般に普及している2条刈自脱コンバイン1台が普通の農家における農作業ベースで収穫作業をしてその全量をこれに投入することにしたので、そのような場合、この乾燥装置で滞荷を生じることなく乾かせるかどうかということ、換言すればこのような場合、滞荷*を生じさせないためにはどれほどの乾燥機容量とハウス面積が必要かという判断をするためのデータを得る実験ともなるわけである。

B-a 実験装置と実験方法

55年度に建てたビニールハウス(幅4m×奥行22.5m×高さ2.25m,床面積90m²,容積約150m³)を図1-3に示すように30m²と60m²の2つの部屋に区切り、30m²側には平面積3.3m²の平形静置乾燥機(N社製NFB-350型)1台と無段変速機付モーターで駆動される口径235mmの渦巻形排風機1台を設置し、60m²側には穀物排出昇降機付3.3m²平形静置乾燥機(Y社製PD-7B型)2台を設置した。図1-4,1-5は実験装置の外観と内部の光景である。

乾燥作業は前年度と同様にハウス内で加熱された空気を乾燥機内の穀物層を通して吸引排風する間に行なうようにした。渦巻形排風機はハウス内加熱空気の排出に用いるが、これはその回転速度を変えて排風量を調節することによって乾燥機の使用台数を変えて乾燥作業を行なうのと同じ状態をつくり出し、ハウス単位面積当りの穀物乾燥量とその乾燥速度や空気上昇温度などの関係、並びにハウスの集熱性能などを調べるのに用いた。

一方、コンバイン(Y社製乗用2条刈)による収穫作業は附属農場において例年と同じペースで作業してもらい、実験期間中は生もみ全量を乾燥機に投入して太陽熱による乾燥を行なった。もし太陽熱乾燥装置で滞荷を生じたときは品質劣化を避けるため通常の乾燥施設で乾燥ができる態勢をとりながら実験を行なうことにした。ちなみに昭和56年度本学附属農場の水稲栽培面積は3haで、早生種1ha,中生種2ha,収穫高は玄米約180俵(=10,800kg)であった。

* ここでいう滞荷とは、コンバイン収穫され、乾燥場へ運び込まれてきた穀物が、乾燥機がカラでないため、すぐ乾燥機へ投入できず、袋に入ったままの状態投入時間待ちさせられることをいう。

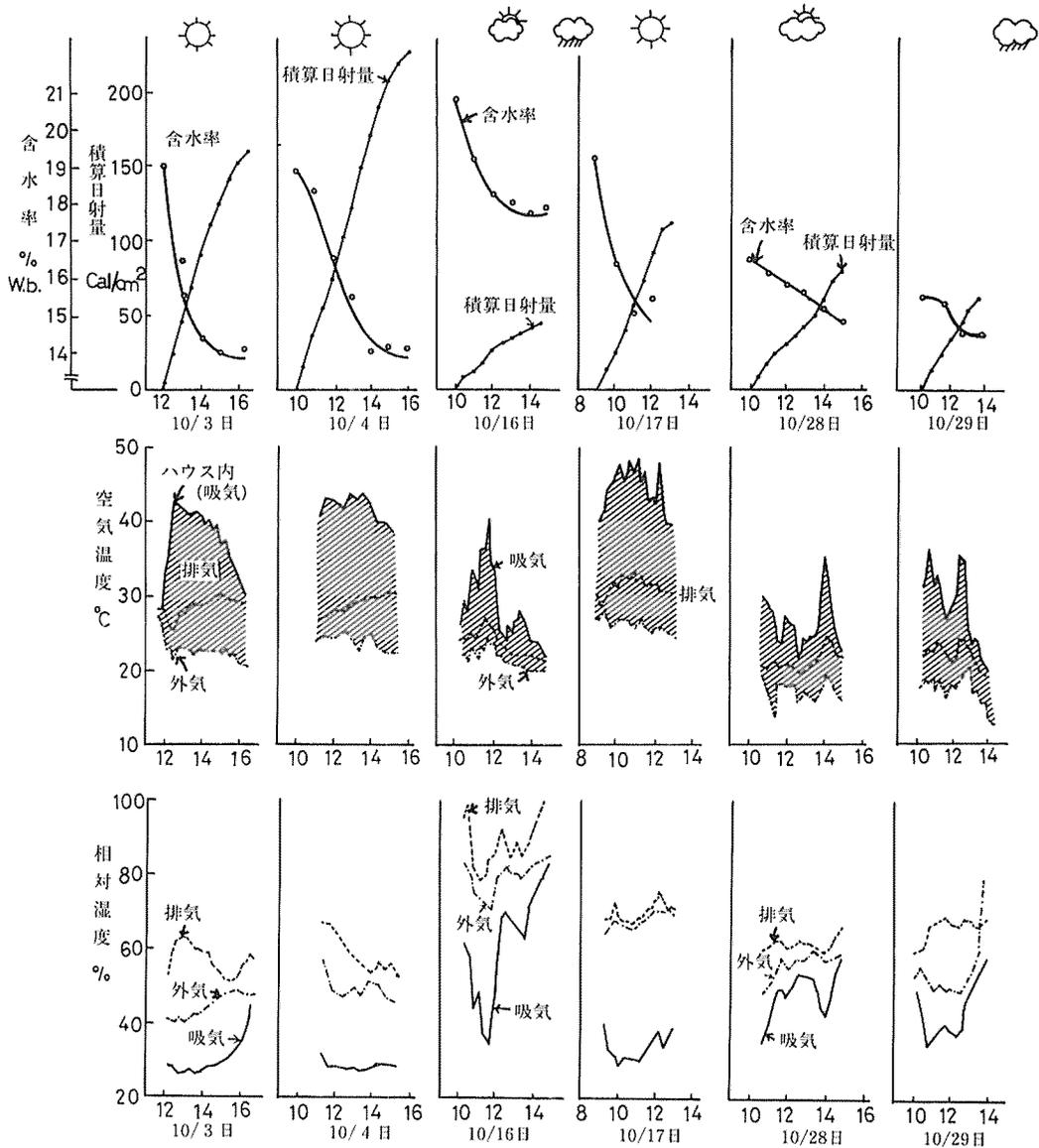


図1-2 ビニールハウス内通風乾燥時の穀物含水率，積算日射量，排・吸気温度などの経時変化（昭和55年10月）
 Fig. 1-2. Hourly changes of grain moisture content, cumulative solar radiation, suction and exhaust air temperature, humidity, etc. under the forced-air drying of paddy rice in the green house. (Oct. 1980)

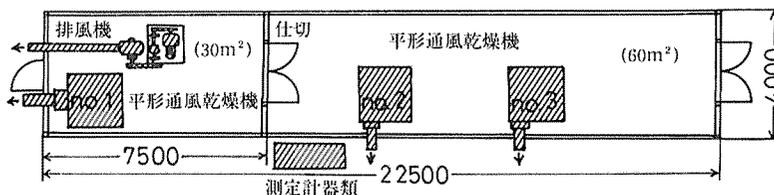


図1-3 ビニールハウスの区切りと機械配置図

Fig. 1-3. Layout drawing of the flat bed type forced-air dryers in the green house and the partitions.



図 1-4 ビニールハウスを集熱器とした穀物乾燥装置
Fig. 1-4. Outlooking view of the grain drying system using the green house as a solar collector.

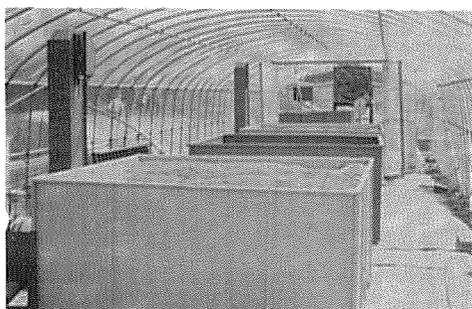


図 1-5 ハウス内の平形乾燥機
Fig. 1-5. Flat bed type forced-air dryers placed in the green house.

測定事項は乾燥期中のビニールハウス内空気と外気の温度、湿度、ハウス内外の日射量、乾燥機の排気温度と湿度、風量、それにもみ温度(上・中・下層)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(Y社製、測定点数23)で10分ないし20分間隔に測定して自記させた。

もみ含水率は1ないし2時間間隔でサンプリングし、炉乾法(10g粒135°C, 24時間乾燥)で測定し、湿量基準(% w.b.)であらわした。

B-b 集熱量, 集熱効率の計算法

ビニールハウスの集熱量と集熱効率は, ハウス内空気の水分変化が微小であったので近似的に次のようにして求めることにした。

集熱量 ΔQ は dt 時間にハウス内で加熱された空気と外気とのエンタルピの差として求まるので

$$\Delta Q = G \Delta E \quad \dots(1-1)$$

ここで, E : エンタルピ (kcal/hg')

kg': 乾燥空気 1 kg 当りの重量

G : 空気質量風量 (kg'/h)

$$G = 60^2 \cdot V_i \cdot \gamma_a \quad \dots(1-2)$$

$$V_i = \sum_{i=1}^m s_i \cdot a_i; \text{ 乾燥機全排風量} = \text{ハウス通風量} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

s_i : 排風管内平均風速 (m/sec)

a_j : 排風管断面積 (m²)

m : 乾燥機同時稼働台数

γ_a : 空気比重量 (kg'/m³)

特にハウス内で空気の水分変化を考えないときは, 外気からの温度上昇 ΔT を用いて (1-1) 式は

$$\Delta Q = G \cdot C_a \cdot \Delta T \quad \dots(1-3)$$

とすることができる。 C_a は空気の比熱 (kcal/kg'・°C) である。

乾燥時間中の集熱量 Q_i (kcal) は

$$\begin{aligned} Q_i &= \sum_{j=1}^H \Delta Q \\ &= \sum_{j=1}^H G \cdot C_a \cdot \Delta T \\ &= \sum_{j=1}^H 60^2 V_i \cdot \gamma_a \cdot C_a \cdot \Delta T \quad \dots(1-4) \end{aligned}$$

ここで, H : 乾燥所要時間 (h)

ハウスに供給されるエネルギー I_i は

$$I_i = \sum_{j=1}^H A_c \cdot I_s \quad \dots(1-5)$$

A_c : 集熱面積 (m²)

I_s : 水平面全天日射量 (kcal/m²・h)

集熱効率 η_c (%) はビニールハウスで収集されたエネルギーと供給された太陽エネルギーの比で表わせるから

$$\eta_c = \left\{ \sum_{j=1}^H \Delta Q / \sum_{j=1}^H A_c \cdot I_s \right\} \times 100 \quad \dots(1-6)$$

あるいは

$$\eta_c = \frac{1}{H} \sum_{j=1}^H \frac{60^2 V_i \cdot \gamma_a \cdot C_a \cdot \Delta T}{A_c \cdot I_s} \times 100 \quad \dots(1-7)$$

としてもよい。

本報告での集熱量 Q は (1-4) 式で, 集熱効率 η_c は (1-7) 式で計算した。

B-c 実験および実験結果

実験は附属農場でもみを集中的にコンバイン収穫した9月16日から1週間と10月3日より約12日間実施をした。いずれの実験期間とも乾燥機にもみを投入し始めてから生もみ重量が合計で約4,000kgに達したとき投入を中断し、それが乾燥終了日までの間を実験期間とした。当該年度の附属農場におけるコンバイン収穫の日時と本実験実施期間の関係を図示すると図1-6のとおりである。

図1-7は9月中旬の実験期間中の天候、コンバイン収穫作業時間帯(斜線を施した部分)、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、数字はその実験期間内のもみ投入回数を示す)および投入量などをあらわしている。その下側の図はその期間の外気とハウス内空気温度、相対湿度の経時変化、ハウス内外の積算日射量(kcal)、乾燥機排気ダクト内の空気温度とその相対湿度などを計測した結果をあらわしている。また、表1-2は乾燥前後の胴割れ率や全日射量、平均乾減率や集熱効率などをまとめたものである。

図1-8、表1-3は10月3日から13日までの実験期間中の同様な測定値を示している。

10月3日から13日にかけての実験では30m²ハウス内の乾燥機には容量一ぱいのもみを入れ、かつ、最初の2日間は渦巻形排風機を駆動して乾燥機2台相当分の空気を排出しながら実験をした。

B-d 実験観察事項および考察

1. 乾燥装置の処理能力について：9月中旬、早・中生種の実験では、日射量も多く初期含水率も18%と

低かったこともあって晴天では8時間前後の通風で乾燥が終了しているが、曇天や雨天では2~3日を要している。また、この時の実験時には晴天の乾燥可能時間帯に乾燥するもみが不足して乾燥機がカラであったり、乾燥機容量の半分くらいで作業をしていたりして乾燥能力に相当の余裕があることが認められた。

ところが10月3日からの実験では、もみの初期含水率が24%近くもあり、天候が2~3日周期でくずれたうえ、9月に比べ日射量も少なかったことなどの悪条件が重なったため、9月中旬と同量のもみ乾燥に約2倍の日数を要した。そして5日以降は90m²のハウス全体を使って集熱したが乾燥処理能力にあまり余裕はみられなかった。

しかしながら、9月、10月の実験期間中とも乾燥がすすまない悪天候時には収穫作業もまた不可能であったので滞荷を生じることにはなかった。

ここで更に詳しく乾燥の進行状態を知るために毎時乾減率を調べてみた。図1-7、1-8の各乾燥機におけるもみ含水率減少曲線より1日ごとに乾減率を計算し、その値を当日の日中通風時間中の積算日射量を横軸にとった座標上にプロットすると図1-9のようになる。

これをみると、晴天時には1.0~1.5%/h、くもり日で0.5%/h内外と天候に大きく左右されながらも通風乾燥としては大へん大きな値を示している。

一方毎時平均乾減率を、もみを乾燥機へ投入してから乾燥終了までの間の全通風時間の平均値として求めてみると表1-2、1-3内に記入した数字になる。この場合は

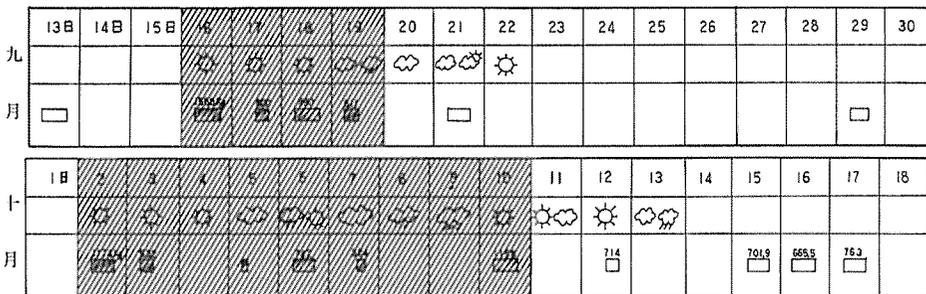


図1-6 1981年秋、三重大附属農場でのコンバイン収穫作業の日時・収穫量と本実験の実施期間

Fig. 1-6. Calendar showing the periods of combine harvesting operation and the experiment of solar dryer done at Mie University Experiment Farm in autumn 1981, related to the harvested paddy yield for each days.

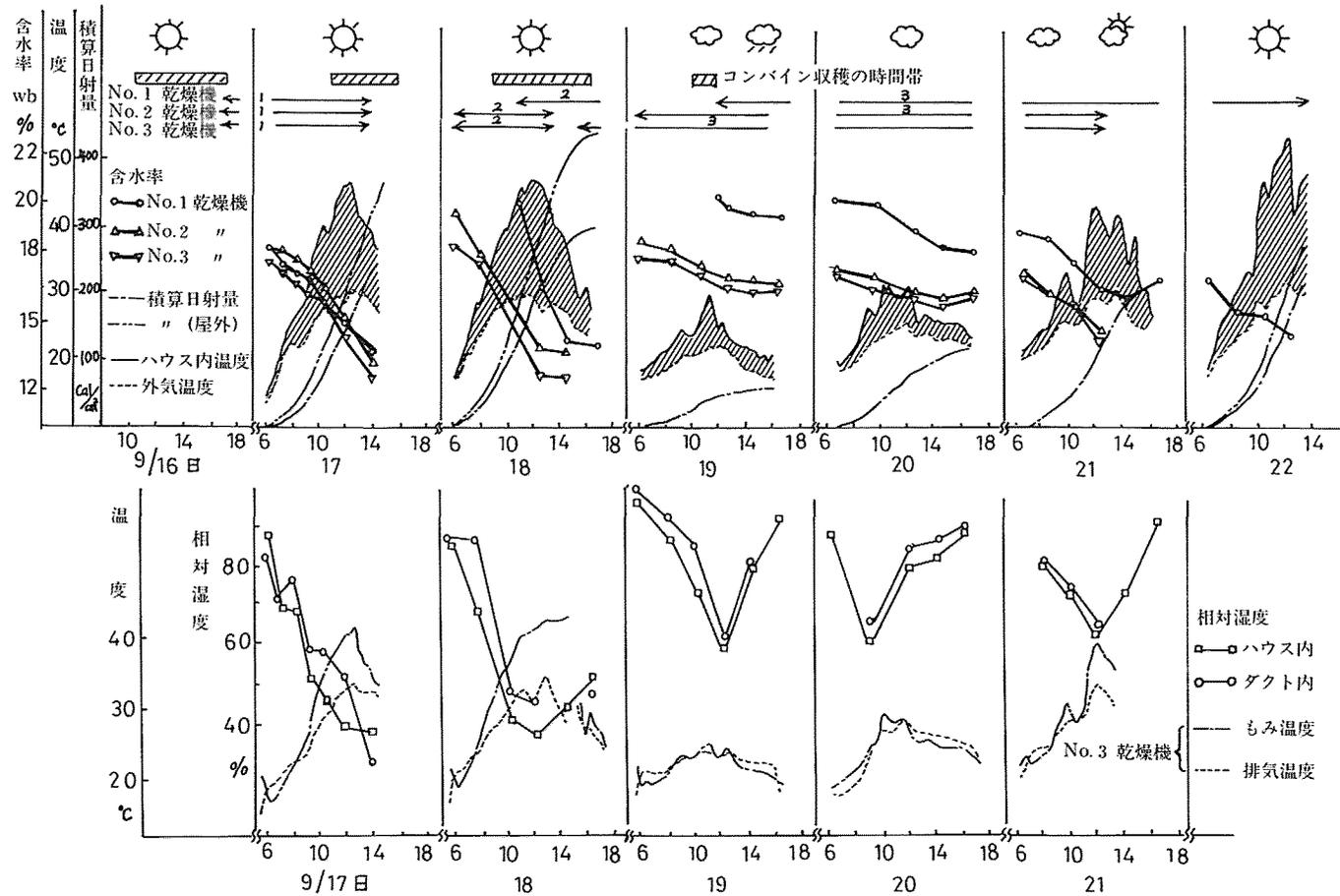


図 1-7 ビニールハウス内通風乾燥時の日射量、ハウス内外温湿度、もみ含水率などの経時変化(昭和56年9月)

Fig. 1-7. 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 green house. (Sep. 1981)

表 1-2 もみ乾燥実験測定値 (56年9月17日~22日)

Table 1-2. Measured values obtained from the experiments on artificial paddy drying conducted in Sep. 17-22, 1981.

投入回数		1 回 目			2 回 目			3 回 目		
試 験 日		9 月 17 日			18 日			19日~ 22日	19日~21日	
乾燥機番号		1	2	3	1	2	3	1	2	3
乾燥前もみ重 (kg)		544.5	479.7	555.8	267.0	332.5	450.0	610.6	313.7	409.4
" もみ水分 (% w. b.)		17.2	17.1	16.5	18.8	18.3	18.3	19.0	17.4	16.8
" 胴割率 (%)		0.33	0.33	0.17	0.33	0.00	0.33	0.33	0.17	0.00
通 風 量 (m ³ /sec)		0.25	0.44	0.44	0.25	0.44	0.44	0.25	0.44	0.44
風 量 比 (m ³ /sec · 100kg)		0.046	0.092	0.060	0.094	0.132	0.098	0.041	0.140	0.107
通 風 時 間 (h)		8.0	8.0	8.0	6.0	8.0	8.0	32.0	27.0	27.0
外 気 温 湿 度	気 温 変 動 (°C)	13.4~31.0			15.6~30.6			17.1~ 30.8	17.1~30.8	
	平 均 気 温 (°C)	24.2			24.8			22.7	22.0	
	湿 度 変 動 (% RH)	35.0~87.0			38.0~86.0			60.0~ 96.0	46.0~96.0	
	平均空気湿度 (")	57.8			56.0			76.3	79.3	
吸 気 温 度	もみ層表面温度変動 (°C)	15.0~ 49.0	17.8~ 39.9	16.6~ 41.3	28.2~ 37.5	17.8~ 38.8	18.8~ 42.2	20.2~ 48.2	18.5~ 37.2	18.8~ 39.2
	" 平均温度 (°C)	28.9	29.4	29.4	31.4	28.3	30.3	28.7	27.4	28.4
全 日 射 量 (kcal)		3,460			2,607	3,820		~	~	
" (ハウス内)		2,469			1,828	2,632		5,340	3,320	
乾燥機もみ水分 (% w. b.)		13.2	12.8	12.3	13.7	13.4	12.4	13.7	14.0	13.6
" 胴割率 (上層 %)		3.00	16.7	0.67	2.67	1.00	1.00	0.67	1.00	3.00
" " (下層 %)		1.67	1.00	0.67	2.33	0.33	0.67	~	0.33	0.67
平均乾減率 (%/h)		0.50	0.54	0.53	1.44	0.75	0.57	0.17	0.13	0.12
乾燥後もみ重 (kg)		519.4	456.0	529.4	251.2	313.7	419.5	573.1	301.3	394.2
通風時間中の太陽輻射エネルギー (kcal)		311,400.0			343,800.0			19,7218.8 (22日)	~	
通風時間中の集熱量 (kcal)		75,672.2			89,384.2			28,807.6	~	
集 熱 効 率 (%)		24.3			26.0			14.6	~	
集熱面積殺重比 (m ² /100kg)		5.7			8.6			14.7	~	

〔備考〕 品種コシヒカリ，ばら積，ビニールシートは太陽光透過率平均70.1%

雨天の日も含んだ平均値なのでその値は小さく，9月中旬で0.38%/h，10月上中旬で平均0.51%/hとなっていて全平均では0.44%/hになる。9月中旬の値が10月上中旬の値より小さな値を示しているのは9月中旬の実験値には雨天の日の非常に小さな値が含まれているためで

あり，雨天となった第3回目の値を除くと9月中旬で0.5~0.7%/h，10月上中旬で0.45~0.6%/hとなる。

このように9月と10月では乾減率に大きな差がなかったにも拘らず，10月には9月と同量の穀物乾燥に約2倍の日数を必要としたのは10月期の初期含水率が高く，除

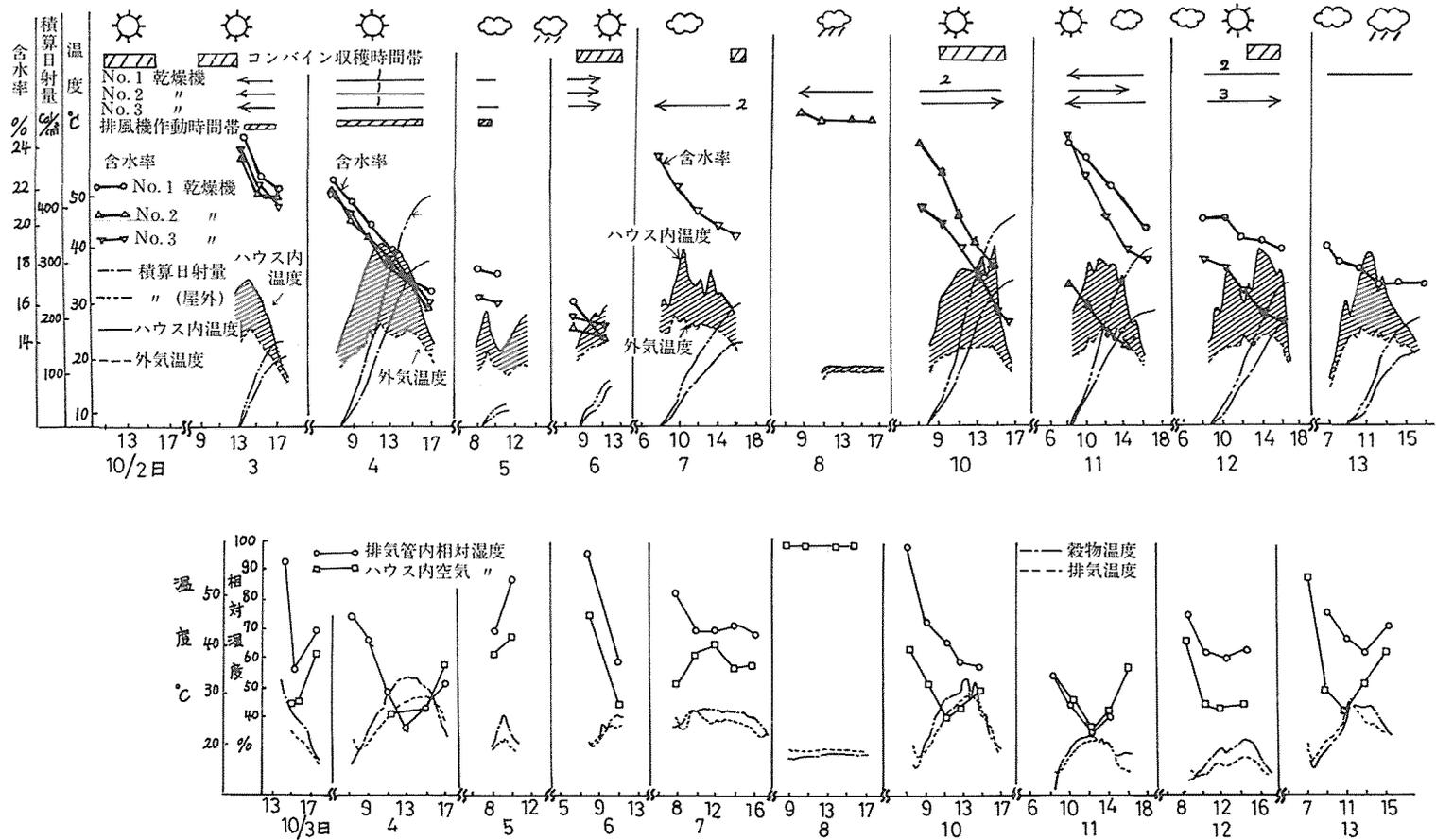


図 1-8 ビニールハウス内通風乾燥時の日射量、ハウス内外温湿度、もみ含水率などの経時変化 (昭和56年10月)

Fig. 1-8. 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 greenhouse. (Oct. 1981)

表 1-3 もみ乾燥実験測定値(56年10月3日~15日)

Table 1-3. Measured values obtained from the experiments on artificial paddy drying conducted in Oct. 3-15, 1981.

投入回数		1回目			2回目			3回目	
試験月日		10月3日~6日			11~15	8~11	7・10	13~15	11~12
乾燥機番号		1	2	3	1	2	3	2	3
乾燥前もみ重 (kg)		538.8	635.3	532.1	621.8	324.2	742.2	558.4	535.9
" もみ水分 (% w. b.)		24.6	23.7	22.7	23.9	25.4	23.2	20.6	23.9
" 胴割率 (%)		1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
通風量 (m ³ /sec)		0.25	0.44	0.44	0.25	0.44	0.44	0.44	0.44
風量比 (m ³ /sec・100kg)		0.046	0.069	0.083	0.040	0.136	0.059	0.079	0.082
通風時間 (h)		19.0	16.5	19.0	25.5	24.4	18.0	8.5	16.5
外気温	気温変動 (°C)	15.9~26.8			13.4~26.2	15.7~26.2	15.7~27.3	13.4~26.0	18.1~26.2
	平均気温 (°C)	20.8			22.2	20.2	21.2	22.2	22.1
湿度	空気湿度変動 (% RH)	39~98	39~98	38~98	27~70	27~70	32~100	45~93	27~70
	平均空気湿度 (%)	62.7	60.9	62.7	60.2	71.2	71.2	72.7	53.0
吸気温度	もみ層表面温度変動 (°C)	17.0~40.0	16.0~34.0	14.0~37.8	17.5~37.0	15.0~34.0	16.0~32.0	15.0~29.7	19.0~36.5
	" 平均温度 (°C)	26.5	26.8	27.2	26.0	24.0	26.2	23.7	26.1
全日射量 (kcal)		7,114	6,698	7,114	~	6,948	6,129	~	5,912
" (ハウス内)		5,248	4,949	5,248	~	4,638	4,214	~	3,983
乾燥後もみ水分 (% w. b.)		14.1	13.8	14.3	12.3	13.4	14.5	16.8	14.4
" 胴割率 (上層, %)		4.00	3.30	4.30	3.30	7.33	2.67	1.00	0.00
" " (下層, %)		2.30	1.00	0.67	2.00	1.30	0.67	0.67	~
平均乾減率 (%/h)		0.55	0.60	0.44	0.46	0.49	0.48	0.45	0.58
乾燥後もみ重 (kg)		470.0	562.0	478.0	538.8	279.0	666.4	532.9	476.4
ハウス面積 (m ²)		30	60		90			90	
面積穀重比 (m ² /100kg)		5.57	5.14		7.77 (12日)	8.44 (10日)		6.63 (13日)	7.77 (12日)

〔備考〕 品種はアキバレ，ばら積，ビニールシート太陽光透過率平均70.1%

去すべき水分量が約2倍であったことによることがわかる。

そして平均乾減率が前年度の平均値 0.71%/h に比べて小さい値となったのはハウス面積当りの穀物量が昨年比で多かったからである。

56年度は都合によりもみ収穫の全期間について実験できず，収穫適期間のうち実質 1/2 の期間に附属農場水田

で収穫されたもみの約60% (生もみ 8,000 kg) を乾燥したにとどまったけれども，本実験期間外の日々の収穫量とその時々天候状態から推定して今回程度の設備があれば天候が特に不順でない限り2条刈コンバイン1台が収穫する3haのもみ全量を，太陽熱利用で収穫適期間中に十分乾燥することができるという見通しだけは得られたといえよう。

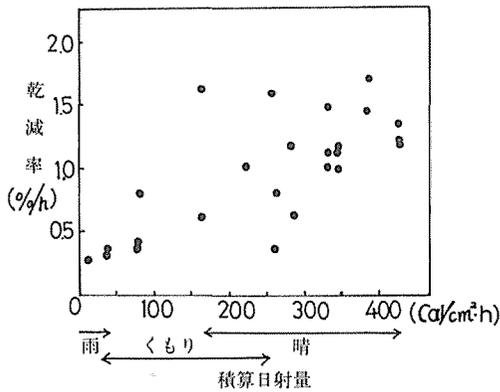


図 1-9 積算日射量と乾減率の関係

Fig. 1-9. Relationship between the cumulative solar radiation and the drying rate for paddy rice.

2. 積算日射量と集熱量, 穀物水分蒸発量の関係について

a. 積算日射量と集熱量, 穀物水分蒸発量の関係: 通風乾燥時間中の水平面積日射量と (1-4) 式で定義した集熱量の関係を図示すると図 1-10 のようになり, 両者はほぼ比例関係にあることがわかる。すなわち,

$$Q_t = 0.244 I_t \quad \dots(1-8)$$

ここで, Q_t : 通風時間中の集熱量 (kcal)

I_t : 通風期間中の積算日射量 (kcal)

これより (1-7) 式で定義した集熱効率の全平均値は 24.4% であることがわかる。

b. 集熱量と穀物水分蒸発量の関係; 55, 56 年度の実験データから, 通風時間中の集熱量をパラメータとして穀物水分の蒸発量をプロットすると図 1-11 のようになる。このように測定値にばらつきが多いのは水分蒸発

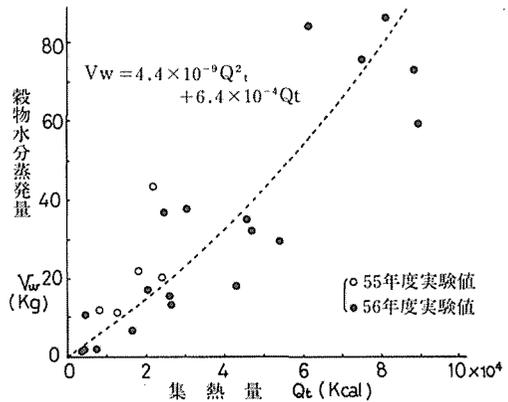


図 1-11 集熱量と穀物水分蒸発量の関係

Fig. 1-11. Relationship between the quantity of heat delivered by the solar system and the amount of grain moisture evaporated.

への他の要因の影響が大きいことを示している。両者の関係を数式で示すと次のようになる。

$$V_w = 4.4 \times 10^{-9} Q_t^2 + 6.4 \times 10^{-4} Q_t \quad \dots(1-9)$$

ここで V_w : 穀物水分蒸発量 (kg)

この関係から水分 1 kg を蒸発するのに要する附加熱量は約 1000 kcal であり, 火力乾燥時のそれに比べるとかなり小さい値となっている。

c. 積算日射量と水分蒸発量の関係: (1-8) 式の集熱量 Q_t に (1-9) 式の値を代入すると積算日射量と穀物水分蒸発量の関係を表わす次式が得られる。

$$V_w = 2.6 \times 10^{-10} I_t^2 + 1.6 \times 10^{-4} I_t \quad \dots(1-10)$$

この両者の関係を図示すると図 1-12 のようになり, 穀物水分蒸発量も積算日射量にはほぼ比例して増大していくことがわかる。

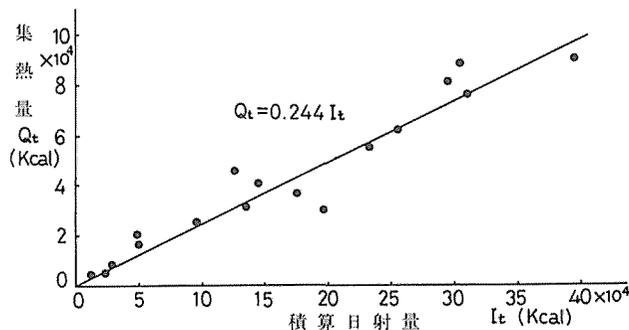


図 1-10 集熱用ビニールハウスの積算日射量と集熱量の関係

Fig. 1-10. Relationship between the cumulative solar radiation in the green house as a solar collector and the quantity of heat delivered by the solar system.

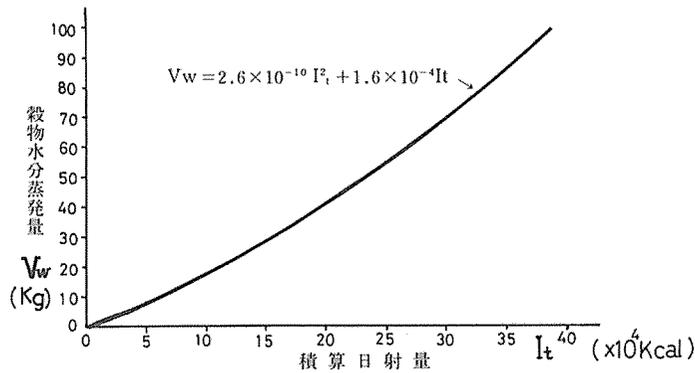


図1-12 集熱ハウスの積算日射量と穀物水分蒸発量の関係

Fig. 1-12. Relationship between the cumulative solar radiation in green house used as a solar collector and the amount of grain moisture evaporated

このほか、穀物単位重量当りの集熱ハウス面積や通風量と乾減率、集熱効率の関係とか、単位集熱面積当りの通風量と集熱効率および乾減率の関係などを調べた結果については適正ハウス面積を論じる次報で述べる予定である。

III 論 議

最初に述べたように、本実験の主目的は上述のような太陽熱利用穀物乾燥法がはたして現在の機械化収穫調製作業体系の中へ組み込めるだけの乾燥速度と乾燥処理量を有するか否かを明確にすることであった。こういう問題は本来その判定の基準となるものを確定し難いことや、年によって変動する性質のものを相手とすることなどから、多くの人と場所によって長年にわたる実験の結果からその結論が引き出されるべきであり、限られた実験の結果だけから軽々に結論づけられることではない。しかし、大よそ、その可能性の有無程度のことには1・2年の結果からでも十分に判断できることがあり得ることも過去の事例が示している。

上述の設備で1~2 ton 程度の生もみが何回も1日間で乾燥できたという動かし難い事実、3 ha の生もみ収量14 ton も晴天続きなら3~4週間で乾かし得るという計算結果や天候不順時は仕上げ乾燥不能という現実などを考慮し、2ケ年にわたる実験結果を詳細に検討した結果として、収穫量に対して設備規模がある程度大きければ太陽熱乾燥を現在の機械化作業体系の中へ組み込める可能性があるということだけは明言できる。

今後は一定の収穫量に対する乾燥装置の適正規模を見

出すことを含めた乾燥設備の合理的な設計と、これが効率的な利用法に関する研究を更に行なう必要がある。

ここで、この次の問題に関連する以下の事項について今迄の実験結果を踏まえて若干論じてみる。

(1) 集熱ハウスの集熱効率について；まず集熱効率計算の基礎になる集熱量は(1-4)式で定義したように、通風量と空気温度上昇の積で与えられるから、両者をともに増加すれば集熱量は多くなり乾燥も促進されるわけである。日射量が同じとき集熱ハウスの排風量を増せば空気温度の上昇は少なくなるが、この際風量を少なくし温度上昇を大きくして乾燥作業するのと、その逆に風量を多くして低い温度上昇で作業をするのではどちらが乾燥に有利かという問題が生じてくる。これを過去の実験例からみると後者のほうが圧倒的に有利であるという結果が出されている。したがって、少なくとも穀物層を通過して室外へ排出される空気温度が外気温度に近くなる程度まで通風量を増加し、かつ、その風量にみ合う穀物量を同時に乾燥するようにすれば効率のよい乾燥作業ができるものと考えられる。

今回実験の集熱効率をみると、55年度のそれより10.3%増加して平均24.4%となっているが、この理由は乾燥機を3台使用したため排風量が今年の約3倍になった結果、同一日射量と外気温度のときと比較すると、ハウス内空気温度上昇は若干小さくなっているが集熱効率は大きな値を示すことになったわけである。農水省農試での実験結果は今回実験値の更に2倍近い集熱効率を示しているが、これはハウス面積当りの風量が多かったためである。⁹⁾しかし、風量を無闇に多くすると温度上昇が小

さくなり常温通風に近くなるため乾燥速度が減少し不都合を生じてくる。したがって、集熱効率と乾燥速度、つまり乾減率をどの辺で折合わせて乾燥作業をすすめるのが最も有利かを見出すことが今後の課題となるわけである。

(2) 所要乾燥機容量について；これは主に次回で検討する予定の問題であるが、本実験の結果からみたその適正值について若干考えてみたい。

今回使用した乾燥機3台の合計容量は満たん時約2,100 kgであり、2条刈コンバイン1台が終日稼動した場合、1日ないし1.5日分の収穫量に相当する。したがって、天候がよくて連日コンバインが稼動するとすれば乾燥機は1日の収穫量を1日間で乾燥しおわらなければ滞荷を生じることになるが、上述の設備では天候がよくて初期含水率18・9%と低ければ1日間で乾燥が終了するのでそれは可能であった。9月中旬の実験はちょうどこれに該当していたといえる。しかし、天候が2~3日間隔で周期的にくずれ、その合間をぬって収穫作業をするときは、収穫の能率もまた上がらないが、初期含水率は高く乾燥には平均して晴天日でも2ないし3日間を必要とする。10月上中旬の実験はちょうどこれに該当した。しかし、この時も滞荷を生じなかった理由は収穫作業が乾燥作業以上に天候の影響を受け、天候が回復後も田面に滞水していたり、稲が濡れていたりにして、天候回復後すぐには収穫作業ができないという事情があり、しかも収穫作業が開始されてももみが乾燥機場へ運び込まれてくるまでにはなお収穫開始後数時間後、ないしその日の夕刻となる場合が多いからである。つまり、収穫もみを乾燥機に投入後天候が悪くなくても1~2日間通風しておれば含水率を17・8%程度にまでは下げられる。そのうちに天候が回復し、次の収穫物が運び込まれてくるまでには少なくとも1日間くらいの時間的余裕があるので、その間に仕上げ乾燥をすることができるからである。したがって、ここで滞荷を生じさせないために必要なことは18%→14%の仕上げ乾燥を1日間で終了できる乾燥能力をもち、かつ1日分の収穫量を投入できる乾燥機容量をもっているということである。その能力の有無が滞荷を生じさせるか否かのわかれ道になるといえよう。さいわい今回の設備ではそれが可能であったために滞荷をみずに乾燥作業ができたと考えられる。したがって、本実験の結果から晴天日に1日間、くもり日で2日間で乾燥が終了できるとき乾燥機容量の1日ないし1.5日分

あれば滞荷は生じないと言えよう。これについては次回にいろいろな場合を想定して更に検討する予定である。

IV 摘 要

1) 現在農業生産の中で最も多くの石油を消費している穀物の乾燥作業にできるだけ多くの太陽エネルギーを直接利用することにより乾燥に要する石油をできるだけ節減することを目的として本研究を実施した。

2) ここで試みた太陽熱利用の穀物乾燥方法は、90 m²のビニールハウスを集熱器としてこの中に平形通風乾燥機を置き、穀物層を通して加温空気を吸引しハウス外に排出する方法である。そしてこのような装置による太陽熱乾燥がはたして現在の機械化収穫調製作業体系の中へ組み込めるだけの乾燥速度と処理量を有するかどうかを調べるための実験を昭和55年と56年度に実施した。

3) 昭和55年度の実験では太陽熱利用だけでどの程度の乾燥速度が得られるかを知るため、上記ハウス内に乾燥機1台を置いて乾燥を行なった。その結果、晴天日には生もみが1日前後という短時間に仕上げ乾燥ができることを見出した。

4) 昭和56年度には前記ハウス内に通風乾燥機3台を置き、一定量の生もみをどれだけの期間に乾燥できるかを調べた。その結果、収穫・乾燥作業ともに天候に大きく左右されながらも生もみ4 tonを雨天を含めて1~2週間で仕上げ乾燥できることを見出した。この設備をフルに使えば、3 haの生もみ収穫量14 tonは収穫適期間である9月中旬~10月下旬の45日間に十分仕上げ乾燥できると見積られる。

5) 乾燥速度をあらわす毎時乾減率は、55年度実験の平均値で0.71%/h、56年度実験では晴天日で1.0~1.5%/h、くもり日で0.5%/h、雨天を含めた全通風時間平均値で0.44%/hであった。

また、(1-7)式で定義したハウスの集熱効率は55年度平均で14.1%、56年実験の全平均値で24.4%であった。

6) 56年度実験時における積算日射量、集熱量と穀粒水分蒸発量の関係は、図1-10、~図1~13に示すようにほぼ比例関係にあることがわかった。

謝 辞

本研究は昭和55年、56年度文部省科学研究費補助金(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」)の交付を受けて実施したものであり、当局に対

し深く感謝する次第である。それに附属農場の藤山堯然助教授、中野博技官らより供試もみの提供をはじめ実験遂行に全面的な支援を受けた。また、研究グループの代表者川村登京都大学教授により終始懇切丁寧なご指導を賜わった。ここに記して深甚な感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 中川健治：太陽エネルギーによる穀物乾燥，施設農業への新エネルギー利用〔太陽・風〕編，フジテクノシステム，p. 360-383 (1980)
- 2) 佐藤，入江：太陽熱による穀物および牧草の人工乾燥，太陽エネルギー，Vol. 7, No. 4, p. 28-40 (1981)
- 3) 中川，堀部，大下，川村：太陽エネルギーによる穀物乾燥 (I, II) 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55年度研究成果報告書，p. 118-119 (1981)
- 4) 中川，堀部，大下，荒川：太陽エネルギーによる穀物乾燥 (III) 農機学会関西支部報，No. 50, p. 18-20 (1981)
- 5) 中川，堀部，大下，川村：太陽エネルギーによる穀物乾燥 (IV) 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56年度研究成果報告書 p. 219-226 (1982)
- 6) 農林水産省農試作業技術第2研究室：ビニールハウス利用による穀物乾燥試験，水田作の機械化に関する試験成績，p. 39-50 (1980)

Summary

1) This study was conducted in order to attain much reduction of the petroleum required for grain drying, the consumption of which is now the largest in all grain producing processes. A new drying method, whereby solar energy is directly used as much as possible, was employed.

2) This grain drying method making use of solar energy is as follows: Flat bed type forced-air dryers are placed in a 90 m² green house which is used as a solar collector, and heated air is sucked through grain layers to be exhausted out of the green house. Experiments were conducted in 1980 and 1981 in order to study whether such a solar dryer system has a drying rate and a drying capacity large enough to be incorporated into the existing mechanized harvesting and processing operation system in our country.

3) In 1980, drying experiment using one flat bed type dryer placed in the house mentioned above was performed to learn what degree of drying rate can be attained by utilizing solar heated air in the house only. As a result, it was found that final drying of raw paddy is accomplished within a short period of time, that is, within a day or so when drying is performed on fine days.

4) In 1981, drying experiment was performed, using 3 flat bed type forced-air dryers placed in the house mentioned above, to study how much time is needed to dry a certain amount of raw paddy. As a result, it was found that final drying of 4 tons of such paddy can be accomplished in one or two weeks inclusive of rainy days, though both harvesting and drying operations are greatly affected by the weather. It is estimated that by full use of this equipment, final drying of 14 tons of such paddy harvested from 3 ha of paddy field can be accomplished satisfactorily in 45 days in the proper harvesting period from mid-September to the latter part of October.

5) Mean moisture reduction rate representing the drying rate was 0.71 %/h as the average of measurements in 1980. In 1981, it was 1.0-1.5 %/h on fine days and 0.5 %/h on cloudy days, and 0.44 %/h as the average of measurements obtained in total forced-air drying time inclusive of rainy days.

On the other hand, the collector efficiency of the house as defined by the formula (1-7) was 14.1 % as the average in 1980 and 24.4 % as the overall average value in the experiment in 1981.

6) With regard to the relationships between cumulative solar radiation, quantity of heat delivered by solar system and the amount of evaporated grain moisture in the experiment in 1981, it was found that these were nearly in a proportional relation as shown in Fig. 1-10 to Fig. 1-12.