

太陽熱利用による穀物の人工乾燥 (II) : ビニールハウス利用乾燥設備の所要規模について

著者	中川 健治, 堀部 和雄, 大下 誠一
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	247-256
発行年	1983-03-01
その他のタイトル	Artificial Drying of Grain with Solar heated Air (Part 2) : Artificial Drying of Grain with Solar heated (Part 2) : On the Required Scale of Grain Drying Facility using the Green House as a Solar Collector
URL	http://hdl.handle.net/10076/3444

太陽熱利用による穀物の人工乾燥 (II)

ビニールハウス利用乾燥設備の所要規模について

中川 健治・堀部 和雄・大下 誠一

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

On the Required Scale of Grain Drying Facility using the Green House
as a Solar Collector

Kenji NAKAGAWA, Kazuo HORIBE and Sei-ichi OSHITA

参考文献 256
Summary 256

目 次

I 緒言	247
II 設備規模の策定対象	247
III 適正乾燥機容量	248
A. コンバイン1日の収穫量を基礎にした必要乾燥機容量	248
A-a 乾燥機容量に関係する要因	248
A-b 必要乾燥機容量の求め方	248
A-c 余裕係数 f について	249
A-d 計算例	249
B. 1日当りの所要乾燥量から算出した必要乾燥機容量	249
B-a 乾燥機容量の計算法	249
B-b 計算例	249
IV 集熱用ビニールハウスの適正面積	250
A. 集熱ハウスの適正面積に関連する要因とその性格	250
A-a 自変数的要因	250
A-b 従属変数的要因	250
B. 太陽熱乾燥におけるハウス面積と他の要因との相互関係	251
B-a 集熱面積穀重比と集熱効率, 乾減率との関係	251
B-b 風量面積比と集熱効率, 空気温度上昇との関係	251
B-c 風量穀重比と集熱効率, 乾減率の関係	252
C. 適正ハウス面積の計算方法	252
D. 適正ハウス面積の計算例	254
V 論議	254
VI 摘要	255
記号一覧	255

I 緒 言

太陽熱利用の穀物乾燥法を, 最近の機械化された稲作作業体系の中へ組み込むためには当然それが収穫作業などの他の作業に支障をきたさないだけの乾燥速度と処理量をもっていることが必要である。ことにコンバインで収穫と同時に生脱穀される場合には, 穀物はその品質劣化を避けるために収穫後滞荷を生じさせることなく可及的速かに乾燥にとりかからねばならない。したがって, これが設備には収穫するだけの穀物を受入れていくだけの乾燥機容量が必要である。

今回はわが国での最も一般的な稲作機械化作業体系の中で, ビニールハウスによる太陽熱利用もみ通風乾燥を実施するときに必要な設備の規模について考えてみた。実験データの不足から不備な点も多々あることも承知のうえで一つのたたき台としてここにその試案を提示してご批判を仰ぐ次第である。

本研究は文部省科学研究費「エネルギー特別研究」の一部交付を受けて実施をした。関係当局並びに研究代表者川村登京大教授, 研究総括者水科篤郎京大工教授らのご指導に対し感謝の意を表す。また実験データの取りまとめには専攻生平岡茂樹, 細井優, 中沢明君らの協力を得た。ここに記して謝意を表す。

II 設備規模の策定対象

ここで規模設定の対象とする太陽熱利用乾燥方式は,

1) 穀物を通風乾燥機内へ投入し、太陽集熱器で加熱した空気を穀物中へ送って乾燥する方式とする。

また、穀物乾燥への太陽熱利用は大規模化によるメリットが少ないと考えられるところから、これが実際に利用されるときは個々の農家が設備をし個別利用されるという形態をとる可能性が強いので、2) 農家が個別に乾燥設備をする場合について考える。

さらに現在稲の収穫方法はコンバインによる方法が主流を占めているので、3) コンバイン収穫による生もみ乾燥を対象とすることにする。

コンバイン収穫では、前述の理由によって収穫後長時間袋に入れたままの滞荷は許されない。そのためにはあらたに収穫物が乾燥機場へ運び込まれてくる時点では、前回の収穫物の乾燥が終了して乾燥機がカラである必要がある。いつでもそのような状態にするためには日日の収穫量に対して乾燥機容量をできるだけ大きくしておくか、乾燥終了時間に合せて収穫作業を遅らせ、収穫を1日ないし2日おきに行なうなどの調整が必要である。

前者の場合は収穫量に対して過大な容量を備えることになって乾燥経費の増大を招くおそれがあり、後者の場合には収穫適期間中に収穫作業が終了できなくなるおそれもある。それでいろいろな角度から穀物の全収穫量や、手持ちコンバインの大きさなどに対して乾燥機の適正容量がどれほどであるかを予め求めておいて設備をする必要があるわけである。

III 適正乾燥機容量

A. コンバイン1日の収穫量を基礎にした必要乾燥機容量

現実の問題として乾燥機容量を考えたときはコンバイン1日の収穫高を基礎にして考えたほうが便利な場合が多い。なぜならばコンバインで収穫した穀物をその日のうちに乾燥機に投入し通風乾燥などに取りかかるためには少なくとも収穫量の1日分が投入できる乾燥機容量を備えていることが最低限必要である。手持ちのコンバインを使って収穫し、栽培品種もあまり変えないときは次のような手順でその適正容量を求めると適切であろう。

A-a 乾燥機容量に関する要因

これの主なものとは1日当りのコンバイン収穫量とその乾燥所要時間である。1日当りの収穫量にはコンバインの大きさから割り出される標準作業能率(kg/h)や同時稼働台数、1日のうちの稼働時間などが関係し、天候や

圃場の立地条件などが間接的にこれに大きく影響を及ぼす。しかし、これらの要因は使用者の意志で選択ないし変更できる性質をもつところのいわゆる変数に属するものが多い。

乾燥所要時間はもみの初期含水率と仕上げ時含水率の差、つまり除去水分量と日射量、空気湿度などの気象条件や乾燥機の作業条件、例えば風量穀重比、風量面積比などが大きく関係する。もともと穀物の乾燥速度とか乾燥所要時間はいろいろな乾燥作業条件から結果として出てくる値であって関数的な性格を帯びているが、作業条件が設定されれば過去の実験例などから所要時間を予測することができる。したがって、予め作業条件を設定しそれを人為的に操作してその作業環境をつくり出せれば乾燥作業の目標値を達成することも可能である。

A-b 必要乾燥機容量の求め方

農家が導入するコンバインの大きさは、当該農家の穀類栽培面積や収穫適期間、収穫時期の天候、労力などからみた稼働可能日数などより割り出した1日当りの所要収穫面積を考慮して決められるのであろうから、乾燥機容量もコンバイン1日当りの収穫量に基づいて次のようにして決めるのがより実際的である。

乾燥機容量 D_c (kg) はコンバイン1日の収穫高 Y_c (kg/day) に1回当りの乾燥所要日数 n_d と、余裕係数 f をかけたものとする。 f は天候不順などのため乾燥が遅延して滞荷を生じ品質が劣化するのを回避するため乾燥機容量に余裕をもたせるためのものである。この場合ある日数間隔をおいて収穫していても収穫適期間中に全収穫作業が終了できる見込みならば、乾燥機容量はその平均収穫間隔日数 n_i で割った値でよいことになる。これを数式であらわすと

$$D_c = \frac{f \cdot n_d Y_c}{n_i} \quad \dots (2-1)$$

1回当りの乾燥所要日数 n_d は実質1日当りの乾燥時間 h_1 でその乾燥所要時間 H を割った値となるが、乾燥所要時間 H は

$$H = \frac{W_i - W_f}{R_w}$$

ここで、 W_i は初期含水率(% w.b.), W_f は仕上げ含水率(% w.b.), R_w は毎時平均乾減率(%/h)である。したがって

$$n_d = \frac{H}{h_1} = \frac{W_i - W_f}{h_1 \cdot R_w}$$

$$D_v = \frac{f(W_c - W_f)Y_c}{n_d h_1 \cdot R_w} \quad \dots(2-2)$$

もし、 $n_d = n_c$ ならば

$$D_v = f \cdot Y_c \quad \dots(2-3)$$

A-c 余裕係数 f について

この余裕係数の値を大きくとれば、滞荷を生じさせずに乾燥できるので作業の安全性は確保できるが設備費が増大して経済性に問題が出てこよう。それで設備規模は最小限にとどめ稀にしか起きない天候不順などで生じる滞荷に対しては臨機の措置、例えば一時的な石油バーナの利用などにより切り抜けるのが有利となる。なぜならばバーナを備えるのは少ない経費ですむが、乾燥機を増設するには多くの経費がかかるからである。したがって、 f の値は西南暖地ではせいぜい1.2~1.5くらいにするのが適当であろう。

A-d 計算例

2条刈コンバインで1日実働3時間に2,100 kg (=700 kg×3反) を収穫するものとする。初期含水率が20%でこれを14%まで乾燥するとして毎時乾減率を0.5%/h、余裕係数を1.5とし、1日8時間稼働とする。収穫作業を連日行なう場合と、隔日に行なう場合について乾燥機容量を求めると、

$$\text{連日刈り } D_v = \frac{f(W_i - W_f)Y_c}{n_d \cdot h_1 \cdot R_w}$$

$$= \frac{1.5(20-14)2100}{1 \times 8 \times 0.5} = 3,150 \text{ kg}$$

$$\text{隔日刈り } D_v = \frac{1.5(20-14)2100}{2 \times 8 \times 0.5} = 1,575 \text{ kg}$$

連日刈りならば700 kg 入る乾燥機5台、隔日刈りなら2台でもよいという結果だが、コンバイン1日の収穫量が2,100 kg なので3台必要である。乾燥機2台では1日の収穫高を1,400 kg に押えねばならなくなる。

B. 1日当りの所要乾燥量から算出した必要乾燥機容量

すべての太陽熱利用施設について言えることであるが、これの経済性を高めるためには年間を通じてできる限り有効利用日数を増大させる必要がある。特に穀物乾燥専用の設備では年間の利用日数が少なくなりがちなので乾燥に利用する日数をできるだけ多くするとともに設備の多目的利用をも考えねばならない。

そのためには栽培品種を早・中・晩生種を組合せて収穫適期間をながくし、その間の日照をフルに収穫乾燥作業に利用するようにすることが必要である。

B-a 乾燥機容量の計算法

以上のような考えのもとに、収穫適期間中1日当りの乾燥所要量を基礎とした乾燥機容量を求める手順は次のようになる。

まず栽培品種より収穫適期間を定め、その期間の日照率から太陽熱乾燥可能日数を求め、それにある係数をかけたものを太陽熱利用日数としそれをもって総収穫高を割れば1日平均の乾燥仕上げ量が求まる。この値に1回の乾燥所要日数をかけたものが乾燥機容量となる。これを数式で示すと

太陽熱乾燥可能日数 n_p (日) は

$$n_p = P_0 \cdot R_s$$

ここで、 P_0 は収穫適期間 (日)、 R_s は日照率である。

総収穫高 Y_t (kg) は

$$Y_t = A_f \cdot Y$$

A_f は1シーズン中に収穫・乾燥を必要とする栽培面積 (反=10 are)、 Y は反当収量 (kg/10 are)。

1日平均の仕上げ乾燥量 V_f (kg/day) は

$$V_f = \frac{Y_t}{n_p \cdot \eta_u}$$

$$= \frac{A_f \cdot Y}{P_0 \cdot R_s \cdot \eta_u} \quad \dots(2-4)$$

ここで、 η_u は乾燥機の利用係数

乾燥機容量 D_v (kg) は

$$D_v = n_d \cdot V_f$$

$$= \frac{A_f \cdot Y \cdot n_d}{P_0 \cdot R_s \cdot \eta_u} \quad \dots(2-5)$$

n_d : 1回の乾燥所要日数

利用係数 η_u は日照時間のうち乾燥機が実質的に稼働される時間の割合であるが、実際に乾燥作業をしてみると、例えば午後2時に乾燥が終了したとしてもそのあと夕暮れまでの数時間の日照は収穫作業や労力などの都合で利用できない場合が多い。このように仕事の手順から乾燥機をフルに利用できない時があるのでこの係数をかけるわけである。

B-b 計算例

稲の栽培面積3ヘクタール、10アール当り収量700 kg (生もみ重量)、収穫適期間は9月16日から10日末日まで

の46日間乾燥機の利用率係数を0.7, 乾燥を仕上げるのに投入1回につき平均2日間かかるとしたときの乾燥機容量を求める。

名古屋周辺の9月の日照率は0.45, 10月は0.49である。よって乾燥可能日数は22日間 ($15 \times 0.45 = 6.75$, $31 \times 0.49 = 15.19$) となる。

$$D_0 = \frac{A_f \cdot Y \cdot n_d}{P_0 \cdot R_s \cdot \eta_u} = \frac{30 \times 700 \times 2}{22 \times 0.7} = 2727.3 \text{ kg}$$

700 kg 入りの平型通風乾燥機を使えば4台必要となる。もし、1回当たり1日間で乾燥できるとすれば2台でよいことになる。

IV 集熱用ビニールハウスの適正面積

単位穀物重当りの集熱ハウス面積を、ここでハウス面積穀重比 ($\text{m}^2/100 \text{ kg}$) と仮称し、この適正值について考えてみる。

ビニールハウスを太陽集熱器として穀物の通風乾燥を実施するとき、単位穀物重当りのハウス面積が過大であれば、穀物乾燥専用のハウスならば経済的に不利になるばかりでなく集熱効率も低くなり、その過乾燥による穀物の品質低下をきたすおそれもあり、過小であれば、乾燥所要時間がながくかかったり乾燥不能におちいることもあるので両者の関係は適正でなければならない。それでこの問題についてここで考えてみることにする。

A. 集熱ハウスの適正面積に関連する要因とその性格

A-a 自変数的要因

これは他の要因とは無関係に変動する要因であり、これには人間の意志で変えられる要因とそうでないものがある。

人間の意志で変えられない要因には天候、日射量、外気温などの気象条件がある。乾燥の熱源となる最も大切な日射量が人為的に変えられないところが太陽熱乾燥の火力乾燥と大きくちがうところであり、またこれの弱点でもある。

水平面日射量は季節によって変化するから計算に際しては乾燥期間の月平均積算全日射量を使用するが、ハウス内への有効日射量には設置場所の緯度、ハウス方位角、受熱面積比 (= 受熱面積/ハウス地表面積)、ビニールシート太陽光透過率などが関係する。

人間の意志で変えられる要因には通風量 (風量穀重比、

風量面積比などであらわされる)、乾燥穀物重 (ハウス面積穀重比、穀物堆積厚さ (= 乾燥機面積穀重比 ($\text{m}^2/100 \text{ kg}$)) などがある。

A-b 従属変数的要因

これは上述の自変数的要因の変動につれて二次的な変動をする要因であり、人間の意志では直接決められず乾燥作業の結果として出てくるものがこの中に含まれる。これのおもな要因をあげると次のとおりである。

1) ハウス内空気の温度上昇; これは多くの実験結果が示すように日射量に比例して上昇するが、日射量一定時には通風量が多くなるに従って双曲線状に減少する。周囲からの水分蒸発を遮断した状態でハウス内空気温度が急激に上昇すると空気の相対湿度は急速に低下して乾燥能力が高まり乾燥が促進される。乾燥ハウスを利用するのはおもにこの空気温度を上昇させてその乾燥能力を高めるのが目的であるといえる。

2) 集熱効率: 集熱ハウスにふり注ぐ日射量のうち、その何パーセントがハウス内空気のエンタルピーの増加に利用されたかを示す値であるが本研究では水分移動が少ないので前報 (1-7) 式で定義した値をいう。

一般に集熱器の集熱効率 η_c は $\Delta T/I$ をパラメータとして次式であらわされる。^{1,2)}

$$\eta_c = C_1 - C_2 \frac{\Delta T}{I} \quad \dots (2-6)$$

ここで、 C_1, C_2 : 係数

ΔT ; 空気の温度上昇 ($^{\circ}\text{C}$)

I ; 日射量 (kcal)

これには風量面積比が大きく影響し、通風量が多くて空気上昇温度が低いとき (つまり $\Delta T/I$ がゼロに近いとき) 集熱効率は最大値を示すが、通風量が少なくて空気温度が臨界温に近づくにつれて小さくなる。

3) 乾減率: 単位時間当りの穀物水分減少割合のことで、穀物の乾燥速度をあらわす数値である。玄米では胴割れ発生を回避するためこれが毎時1パーセント以下であることが必要とされている。

このほか前報 (1-4) 式で定義した集熱量もハウス面積に関連ないし考慮すべき要因としてあげられる。しかし、これは変数としての通風量と、日射量などの関数としての空気温度上昇の積として与えられる数値であるので、分解してしまえばそれぞれの要因へ含まれてしまう値となる。

B. 太陽熱乾燥におけるハウス面積と他の要因との相互関係

集熱ハウス面積の適正值を判断するに当ってはこれと深い関係のある乾減率, 集熱効率, 乾燥経費などが, 実用規模の太陽熱乾燥においてハウス面積の大小によっていかように変化するかを予め把握しておく必要がある。

55, 56年度本学における実験値および農水省農試での実験結果をも含めた関係図表によってこれらの相互関係を調べると次のようである。³⁻⁵⁾

B-a 集熱面積穀重比と集熱効率, 乾減率との関係

集熱面積穀重比とは, 単位穀物重量当りの集熱面積のことで, 通常穀物 100 kg 当りの集熱面積 (m²) であらわされる。

図2-1 は集熱面積穀重比をパラメータとして集熱効率, 乾減率の実測値をあらわしたものである。単位穀物重量当りの集熱面積を増大すると集熱効率は急速に減少し両者の関係は次の双曲線式で近似できる。

$$\eta_c = 75.7 A_c^{-0.6} \quad \dots(2-7)$$

ここで, η_c は集熱効率 (%), A_c は集熱ハウス面積 (m²) である。

しかし, 乾減率は逆に面積の増大につれて放物線的に増大する傾向がある。この乾燥速度をあらわす乾減率は空気の相対湿度など他の要因によって大きな影響を受けるため測定値のばらつきはかなり大きいことが図よりわかる。

また, この図はハウスの集熱効率を20~30%の範囲に維持するためには穀物 1 ton 当りの集熱面積を 100 m² 以下とする必要があることや, そのときの乾減率がおよそ 0.5~0.6%/h であることを示している。

B-b 風量面積比と集熱効率, 空気温度上昇との関係
集熱ハウス 単位面積当りの通風量を風量面積比 (m²/sec・m²) と仮称する。

図2-2 は風量面積比と集熱効率, 空気温度上昇の関係を示している。ハウス面積当りの通風量を増大すると集熱効率は急速に増加するが, ある限度を越えると増加割合は減少し, 両者の間には放物線的な関係がみられる。すなわち

$$\eta_c = 57.0 - 59.1 e^{-76.73V_u} \quad \dots(2-8)$$

ここで, η_c : 集熱効率 (%), V_u : m² 当り通風量 (m³/sec・m²)

これより通風量を多くしたほうが集熱効率をよくする

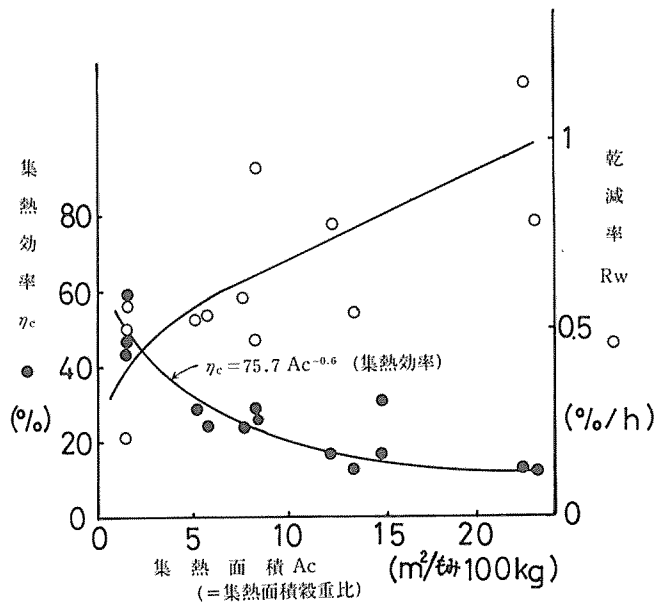


図2-1 集熱面積穀重比と集熱効率, 乾減率の関係

Fig. 2-1. Relationships between the solar heat collecting area per unit weight of grain, the collector efficiency and the mean moisture reduction rate.

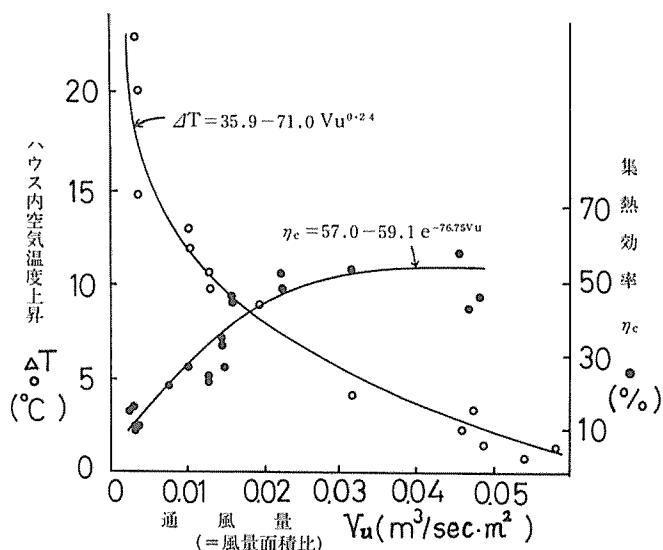


図2-2 風量面積比と集熱効率, ハウス空気温度上昇との関係

Fig. 2-2. Relationships between the air flow rate per collector unit area, the collector efficiency and the change of air temperature in the green house.

のに有利となるが, $0.02 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}^2$ 以上では風量を増加してもその割に集熱効率は増加しないことを図は示している。

一方, 外気温度を基準としたハウス内空気温度の上昇は日射量が $400-450 \text{ kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 時の測定値でみると, 図のように通風量の少ないとき最も高くして臨界温になるが, 通風量の増加につれてその上昇温度は双曲線状に減少し, 大風量時には上昇温度はゼロに近く外気温度とあまりちがわなくなる。

両者の関係を数式であらわすと次のようになる。

$$\Delta T = 35.9 - 71.0 V_u^{0.24} \quad \dots(2-9)$$

ここで ΔT : ハウス内温度上昇 (=ハウス内温度-外気温度)°C

ΔT は日射量によって変化しこれの多いときは大きな値を示す。

B-c 風量穀重比と集熱効率, 乾減率の関係

単位穀物重当りの通風量を風量穀重比と称し, 通風乾燥ではその適正値が $0.1 \sim 0.05 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot 100\text{kg}$ とされている。

図2-3 は風量穀重比をパラメータとして集熱効率と乾減率をプロットしたものである。この図は単位穀物重当りの集熱面積を一定にしておいてその上で風量を変えて

得た実験値でないことや, いろいろな要因が入り込んでいるため無雑作な状態をあらわしている。

この図からは単位穀物重当りの通風量と乾減率の関係は一定の傾向を見出し難い。また, 集熱効率も送風量の増大につれて若干よくなる傾向がみられる程度である。

このほか適正ハウス面積について考えるうえで参考とすべきデータとして前報 図1-10~12であらわした積算日射量と集熱量, 穀粒水分蒸発量の関係がある。

C. 適正ハウス面積の計算方法

穀物中の除去水分量や1回当りの乾燥日数を予め設定したとき, これを達成するのに要する集熱ハウス面積を求める方法を, 太陽熱温水器の集熱面積計算法などを参考に述べておくと次のようになる。⁵⁾

まず, ハウスの集熱量と, 穀物水分蒸発に要する熱量を熱負荷とし, 両者を等しいと置いて

$$A_c \cdot n \cdot I'_s \cdot \eta_c = \sigma \cdot Q_1 \quad \dots(2-10)$$

これより

$$A_c = \frac{\sigma \cdot Q_1}{n \cdot I'_s \cdot \eta_c} \quad \dots(2-11)$$

ここで, A_c : 集熱ハウス所要面積 (m²)

n : 1回当り乾燥所要日数 (日)

I'_s : 水平面日射量 (kcal/m²·day)

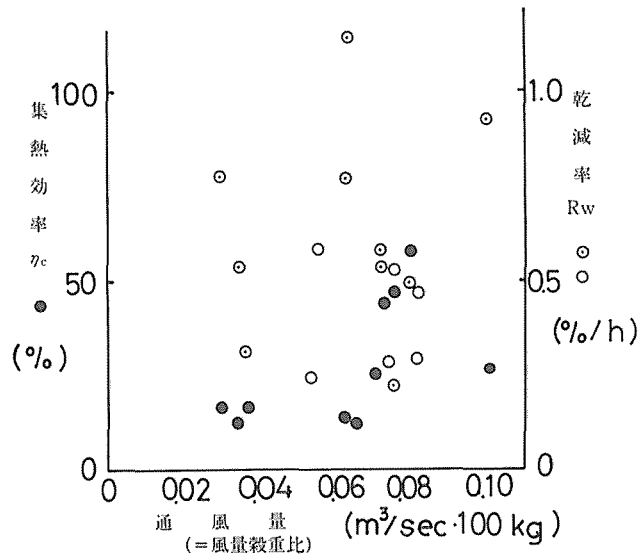


図2-3 風量穀重比と集熱効率・乾減率の関係

Fig. 2-3. Relationships between air flow rate per unit weight of grain, the collector efficiency and the mean moisture reduction rate of paddy rice.

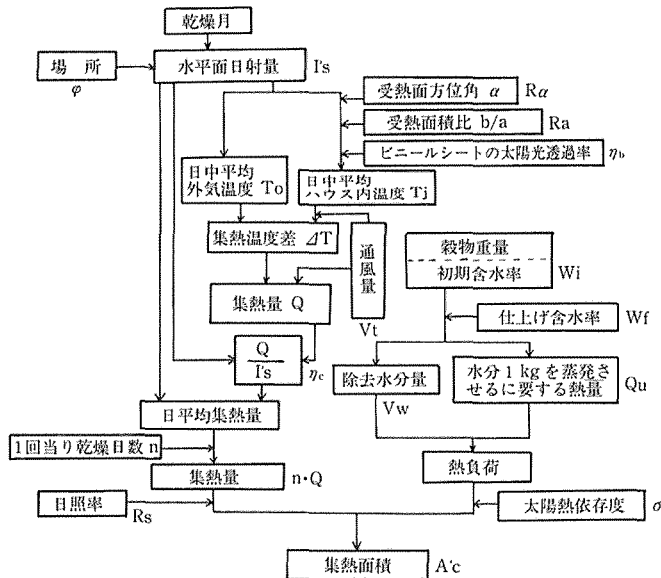


図2-4 集熱面積計算ダイアグラム

Fig. 2-4. Diagram for calculating the solar heat collecting area.

$\eta_c = Q/I_s$: ハウスの集熱効率

Q : 集熱量 (kcal/day)

σ : 太陽熱依存率

$Q_t = V_w \cdot Q_u$: 熱負荷 (kcal)

V_w : 穀物中の除去水分量 (kg)

Q_u : 穀物水分 1 kg を蒸発させるに要する附加熱量 (kcal/kg)

(2-11) 式に $\eta_c = Q/I_s$, および集熱量 $Q = 60^2 V_t \cdot \gamma_a \cdot C_a h_1 \Delta T$ を代入すると

$$A_c = \frac{\sigma Q_i}{n \cdot I_s \cdot Q / I_s} = \frac{\sigma \cdot Q_i}{n \cdot Q}$$

$$= \frac{\sigma \cdot V_w \cdot Q_u}{n \cdot 60^2 V_i \cdot \gamma_a \cdot C_a \cdot h_1 \Delta T} \quad \dots (2-12)$$

ここで、 V_i ：通風量 (m^3/sec)

γ_a ：空気の比重量 (kg'/m^3)

C_a ：空気の比熱 ($\text{kcal}/\text{kg}' \cdot ^\circ\text{C}$)

h_1 ：1日当りの通風時間 (h/day)

$\Delta T = T_i - T_0$ ：ハウス内外の空気温度差 (空気温度の上昇) ($^\circ\text{C}$)

T_i ：日中平均ハウス内空気温度 ($^\circ\text{C}$)

T_0 ：日中平均外気温度 ($^\circ\text{C}$)

(2-11~12) 式の計算手順を示すと図 2-4 のようになる。

(2-11) 式の集熱効率 η_c の値は集熱ハウス面積 穀重比と集熱効率、乾減率の関係をあらわした図 2-1 の実験値から推定して所要乾減率 0.5%/h が得られる範囲として 15~30% とするのが適当であろう。

(2-12) 式を用いて所要集熱面積 A_c を求めるとき空気の温度上昇 ΔT をいかにして決めるかが問題である。これは (2-12) 式における熱負荷 Q_i が、前報 (1-4) 式で定義したハウスの集熱量 Q でまかなわれると仮定したとき、必要とする空気の温度上昇はどれほどか、これは言いかえると、水分除去に必要なすべての熱量が通風される空気への附加顕熱でまかなわれるとすれば、穀物層通過後の温度降下、つまり吸気と排気の温度差はどれほどになるか、また、もし排気温度を外気温度と同じにするには吸気温度を何度上昇させねばならないか、という問題になるが、これはここでは $Q_i = V_w \cdot Q_u = n \cdot 60^2 V_i \cdot \gamma_a \cdot C_a \cdot h_1 \cdot \Delta T$ より次のようにして求めることにする。

$$\Delta T = \frac{V_w \cdot Q_u}{n \cdot 60^2 V_i \cdot \gamma_a \cdot C_a \cdot h_1} \quad \dots (2-13)$$

D. 適正ハウス面積の計算例

ビニールハウスによる太陽熱利用もみ通風乾燥方式で、常時生もみ 1000 kg、初期含水率 22% を晴天日 (3500 kcal/ $\text{m}^2 \cdot \text{day}$) に 2 日間で 14% w.b. まで乾燥したい。通風量が 0.08 $\text{m}^3/\text{sec} \cdot 100 \text{ kg}$ で集熱効率 30% となるような集熱ハウス面積を求めてみる。

除去水分量は、1000(100-22) = x(100-14) より x = 907 kg。 $V_w = 1000 - 907 = 93 \text{ kg}$ 、もみ水分 1 kg を除去するに要する附加熱量は前報 図 1-11 の集熱量と蒸発水分

量の関係より推定すると 1000 kcal/kg である。したがって、熱負荷は 93,000 kcal となる。これらの値を (2-11) 式に代入すると

$$A_c = \frac{\sigma \cdot V_w \cdot Q_u}{n \cdot I_s \cdot \eta_c} = \frac{1 \times 93 \times 1000}{2 \times 6500 \times 0.3} = 44.3 \text{ m}^2$$

ここで、熱負荷 Q_i = 集熱量 Q と置き、通風量 $V_i = 0.8 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{ton}$ のとき必要となる空気温度上昇 ΔT を求めると

$$\Delta T = \frac{V_w \cdot Q_u}{n \cdot 60^2 V_i \gamma_a C_a h_1}$$

$$= \frac{93.000}{2 \times 60^2 \times 0.8 \times 0.84 \times 0.24 \times 8} = 4.8^\circ\text{C}$$

4.8 $^\circ\text{C}$ の温度上昇ならば図 2-2 の実験値から推定すると晴天では風量面積比 0.0325 m^3/m^2 でも達成可能であり、通風量をそのままにすると必要ハウス面積は 0.8/0.0325 = 24.6 m^2 となり、44 m^2 では相当の余裕があることになる。

一方、乾減率 8/16 = 0.5%/h、集熱効率 30% となるときの集熱ハウス面積を図 2-1 の集熱面積穀重比と集熱効率の実験値から読みとると約 60 m^2 となるが、もし、集熱効率を 35% と仮定すると 44 m^2 でよいことになる。しかし、そのときの乾減率は辛うじて 0.5%/h が達成できることを実験値は示している。結局、この場合ハウス面積は 40~50 m^2 ということになる。

V 論 議

ここではビニールハウスを集熱器とした太陽熱利用の穀物乾燥装置について、その適正規模を乾燥機容量と集熱ハウス面積に分けて論じてきた。いうまでもなく両者の間には密接不離な関係があり、当然乾燥穀物重当りのハウス面積が大 (=ハウス面積穀重比が大) では乾燥速度が大となり乾燥所要時間が短くなるので結果として乾燥機容量は小さくてよいことになる。そういった関係については特に IV の B 項で詳しくみてきたが、乾燥機容量の計算式の中では乾燥所要時間の見積りに際してそれを考慮する程度の扱い方になっている。この両者の関係を折込んだ計算式をたてるためにはもっと多くの実験データが必要であり、実験で裏付けされた理論の確立がなされねばならない。

そしてそれらの相互関係が一層明確になれば、乾燥所要量や乾燥期間、時期などが与えられればモノグラフ上で乾燥機容量とハウス面積が同時に読みとることも可能

となろう。ここでは将来はそういう方向にもっていくべきであるという問題提起をするにとどめておくことにする。

さて、これまでに述べてきたような計算方法で求めたビニールハウス利用の太陽熱乾燥設備規模は、試算例をみてもわかるように現行の火力乾燥機に比べるとかなり大きな乾燥機容量が必要であり、また集熱ハウス面積も相当の広さを必要とするようである。ただし、ここでは滞荷による品質劣化の回避という作業の安全性を重視しながら設備規模を考えたので大きな設備となったが、実際にはもっと経済性を重視して小さな設備を十分活用し、要領よく乾燥する方法もあるであろうから、必ずしも太陽乾燥が大きな設備を常に必要とするとは限らないであろう。それにしてもこれで果たして石油使用の乾燥方法より安く、しかも省資源・エネルギー的な乾燥作業ができるかどうかという疑問を生じてくるので、これについ

ては、このあとで十分に検討する予定である。多分、その検討の結果はすでに広く普及している他の農産物の太陽熱利用乾燥設備にみられるように、設備はできるだけ簡単にして大容量のものを安くつくり、しかもそれを多目的に利用することによってその経済的優位性が保たれる、というような結果が導き出されるものと予想される。したがって、これが実用化をはかる上で重要なことは簡単な設備でしかもあまり労力をかけずに太陽熱乾燥ができるような装置を創り出すことである。そしてこれができるか否かがこれの実用化を左右することになるであろうと思われる。

VI 摘 要

ビニールハウスを集熱器として利用した穀物の太陽熱乾燥をわが国で最も一般的とされる稲作機械化作業体系の中へ組み込んで実施しようとするとき、その作業遂行

表2-1 本論文に用いたおもな記号の一覧表

A_c	集熱ハウスの面積 (m ²)	$Ra=b/a$	集熱ハウスの受熱面積比
A_f	1シーズン中に収穫・乾燥を必要とする穀物栽培面積 (反=10are)	R_s	日照率
C_a	空気の比熱 (kcal/kg·°C)	R_w	毎時平均乾減率 (%/h)
C_1, C_2	集熱効率に関係する係数	S_i	排風管内平均風速 (m/sec)
E	エンタルピ (kcal/kg')	T	温度 (°C)
D_v	乾燥機容量 (kg)	$\Delta T = T_i - T_o$	ハウス内温度上昇 (°C) (集熱温度差)
f	乾燥機容量の余裕係数	T_i	日中平均ハウス内温度 (°C)
G	空気質量速度 (kg/h)	T_o	日中平均外気温度 (°C)
h_1	実質1日の乾燥時間	V_w	穀物水分蒸発量 (kg)
H	1回当りの乾燥所要時間 (=通風時間)	V_t	乾燥機全排風量=ハウス全通風量 (m ³ /sec)
I	日射量 (kcal)	V_u	ハウスm ² 当り通風量=風量面積比 (m ³ /m ² ·sec)
I_s	水平面全天日射量 (kcal/m ² ·h)	W_f	穀物仕上げ含水率 (% w. b.)
I'_s	水平面全天日射量 (kcal/m ² ·day)	W_i	穀物初期含水率 (% w. b.)
I_t	通風時間中の積算日射量 (kcal)	x	未知数
m	排風機同時稼働台数	Y	反当収量 (kg/10are)
n	日数	Y_c	コンバイン1日の収穫量 (kg/day)
n_d	1回当り乾燥所要日数	Y_t	総収穫高 (kg)
n_i	平均収穫間隔日数	α	ハウスの方位角 (度)
n_p	1シーズン中の太陽熱乾燥日数	γ_a	空気比重量 (kg/m ³)
P_o	1シーズン中の乾燥適期間 (日)	γ_b	ビニールシートの太陽光透過率
Q	集熱量 (kcal/day)	$\eta_c = Q_t / I_t = Q / I_s$	ハウスの集熱効率 (=集熱量と積算日射量の比)
Q_t	積算日射量 (kcal)	η_u	乾燥機の利用係数
Q_u	穀物中の水分1kgを蒸発させるに要する熱量 (kcal/kg)	σ	太陽光依存率
$Q_e = V_w \cdot Q_u$	熱負荷 (kcal)	φ	緯度
Ra	ハウスの方位角 α による日射倍率		

上必要な設備規模の求め方について考えてみた。要点を列挙すると次のとおりである。

1) 最初に太陽熱利用乾燥装置の適正乾燥機容量について考察し、滞荷による品質劣化を避けるため、日々のコンバイン収穫量を基礎にして乾燥機容量を求める計算式として (2-2) 式を提示した。

次いで収穫適期間中乾燥設備をフルに活用するという見地から1日当りの乾燥所要量を求め、これを基礎にして乾燥機容量を求める計算式として (2-5) 式を導いた。

2) 集熱ハウスの適正面積について考え、これに関連する要因とその性格を明らかにし、その必要面積を求める計算式として (2-11~12) 式を提示した。

このハウスの適正面積を計算するうえに必要な、ハウス面積穀重比や風量面積比とハウスの集熱効率、ハウス内空気温度の上昇や乾燥速度との関係を、これまでの実

験結果に基づいて図表化し、計算上必要な数値がこの中から読みとれるようにした。

参 考 文 献

- 1) 太陽エネルギー学会編：太陽エネルギーの基礎と応用，オーム社，p. 72 (1978)
- 2) 三建設備工業編：ソーラーシステム設計資料，p. 31 (1981)
- 3) 中川ほか5名：太陽熱利用による穀物乾燥 (I)，三重大農学報，No. 66，p. 227~240 (1983)
- 4) 農水省農試作業技術第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)
- 5) 農水省農試作業技術第2研究室：穀類及び飼料作物の乾燥・貯蔵に対する太陽エネルギーの効率的利用技術の開発，昭和55年度試験成績，pp. 28 (1981)
- 6) 前出1) p. 210~217

Summary

Assuming that this solar dryer system using the green house as a solar collector is incorporated into the mechanized rice cropping operation system most popular in our country, studies were made to determine the facility scale of dryer system required for performing grain drying smoothly. The salient points obtained are as follows:

1) First, study was made concerning how much holding capacity is required for the grain dryer utilizing solar energy. Formula (2-2) was proposed with which the optimum holding capacity of the dryer can be calculated on the basis of daily harvesting amount of grain by combine.

Next, required drying quantity per day was determined from the standpoint of full use of the drying facility during the proper harvesting period. Then formula (2-5) was derived as a calculation formula to obtain that holding capacity of a dryer which is calculated on the basis of above required drying quantity.

2) By picking up factors having effects on the area of a solar collector house, all of those characteristics are made clear. From these data, formulae (2-11 & 2-12) were proposed to calculate adequate area of the collector house.

House area (m²)/Grain (100 kg) and Air volume (m³/sec)/House area (m²), required for calculation of adequate house area, in relation to the collector efficiency of the house, air temperature rise within the house and drying rate, were represented graphically based on the results of experiments conducted up to the present.

Numerical values required for calculation of adequate house area can be read there-from.