

籾殻・玄米間の水分移動についての考察

福 森 武^{a)}・毛利 建太郎

(農業生産システム学講座)

Study on Moisture Transportation between Husk and Brown Rice

Takeshi Fukumori^{a)} and Kentaro Mohri

(Department of Agricultural Production Systems)

During the paddy drying process, the moisture transportation takes place through the husk. Therefore, it is necessary to understand the full mechanism of the paddy drying and to analyse the characteristics of gas transperance in the husk on a micro scale. Furthermore, as the husk and brown rice are composed of different substances, it is important to examine the moisture transportation process such as drying and moisture absorption, and the physical characteristics such as the influences that the substances have. In this study, various drying characteristics were examined by using test equipment.

The results of the experiment were obtained as follows:

1. The velocity of moisture transportation from the inner part to the outer part of the husk is higher than the reverse.
2. During the paddy tempering stage of intermittent drying, it increases the velocity of moisture transportation if the initial difference in the moisture content of husk and brown rice and paddy temperature are high. This knowledge can be utilized for the optimum design of paddy dryers.

Key words : paddy, intermittent drying, husk, brown rice, moisture transportation

I. 緒 言

籾の間欠乾燥において、玄米からの水分の移動は籾殻を通じて行われるので、籾殻と玄米の間の関係を知る必要がある。また、籾殻と玄米は異質な物質で構成されているので、両者間の水分移動は均衡水分、乾物質質量比、乾湿時の形状変化などの物性値に影響される。本報告は籾の間欠乾燥について実験を行い、テンバリング中の籾殻と玄米間の水分移動が籾殻と玄米間の水分差と穀温によってどう影響されるかを調べた。さらに籾殻の通気性を考察するために走査電子顕微鏡を用いて籾殻の断面組織を観察した。

II. 実験装置と方法

1. 実験装置

1) 供試材料

実験には平成12年福岡県産のコシヒカリを供試した。供試籾は初期水分を24~16%で5段階に調整した後風選し、2.3mmの金網をセットしたテスト粒厚選別機で籾の未熟粒を除去した。さらに供試材料の水分むらによる測定誤差を少なくするため、調製後の生籾をビニール袋に入れて密閉状態で2日間以上常温貯留した。

Received October 1, 2000

a) ㈱佐竹製作所

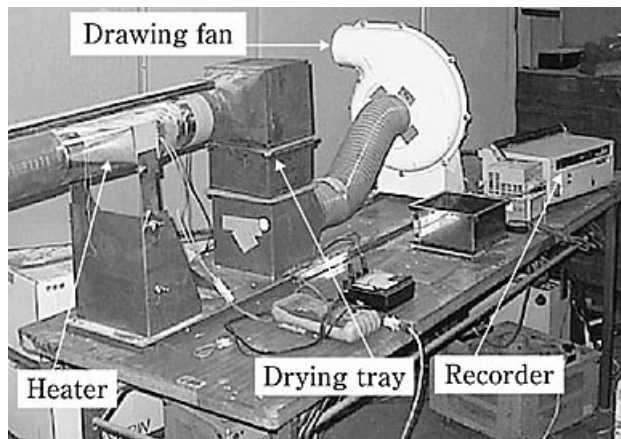
(Satake Corporation)

2) 乾燥装置

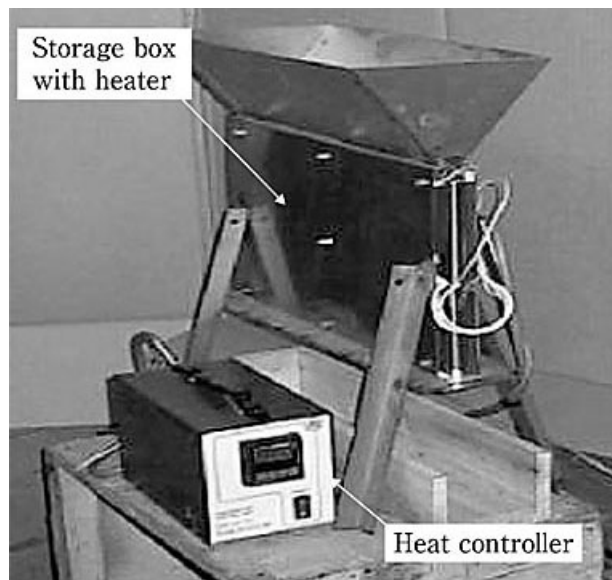
テンパリング開始時の粃殻と玄米の水分差を知るために、約1kgの生粃を図1(a)の乾燥装置で乾燥した。乾燥温度はテンパリング時の設定穀温に対し、それより2℃高い温度を目標にし、それぞれ32℃、37℃、42℃の3通りとした。乾燥時間は乾燥温度によって異なるが、粃殻・玄米間の水分差を15%以下の3段階になるように5min～15minとした。また、風量については2.4m³/min(風量比40m³/s.t)になるように設定した。

3) 加温装置

テンパリング期間中の穀温維持を目的に図1(b)の加温装置を用いた。粃貯留槽(容量1kg、幅330mm×



(a) Drying device



(b) Tempering storage device

Fig. 1 Intermittent drying device.

高さ250mm×奥行20mm)の外表面に電熱ヒータを接触させ、コントローラにより貯留槽内表面の温度を制御し、テンパリング時の穀温を約30℃、35℃、40℃の3通りに設定できるようにした。

2. 実験方法

1) 水分および穀温の測定

水分測定には赤外線水分計を用いた。粃殻、玄米の水分測定はインペラ型の粃すり機で粃すりした後、粃殻については1.7mmのふるいで選別して外穎と内穎のみを供試し、また玄米については手選別して未熟粒を除き整粒のみを供試した。なお、テンパリング期間中の水分測定はテンパリング開始後5min、10min、20min、30min、45min、60minの時点でサンプリングし、それぞれについて水分測定を行った。

さらに、テンパリング中の穀温は水分測定用にサンプリングしたものを放射温度計を用いて測定し、乾燥中の熱風温度は熱電対を用いてサーモダックに記録した。

2) 粃殻の組織観察

粃殻の形態観察は供試粃(水分15.2%、品種ひとめぼれ)を縦方向に沿ってナイフで切断し、中の玄米を取り外して粃殻の電子顕微鏡観察用試料を作成し、その試料をアルミ製の試料台にカーボンダイト(導電材)で固定した。前処理としてイオンスパッタリング装置により金(Au)で試料を被覆し、試料に導電性をもたせて走査電子顕微鏡で2次電子像を観察した。また、観察画像用の撮影条件として加速電圧を10kV、倍率を1000倍と3500倍に設定した。

3) 粃と玄米の3軸寸法の測定

水分を16.4%～24.9%の5段階に調整した粃を供試し、サタケ製の形状分析装置(精度1/100mm)で整粒100粒の長さ L 、幅 W 、厚み T を測定した後、手で粃殻を剥いて玄米にし、同様に玄米の3軸寸法を測定した。なお、粃および玄米の推定体積 V は次式で求めた。

$$V = \pi \cdot L \cdot W \cdot T / 6 \quad (1)$$

4) 粃殻と玄米の乾物重比の測定

平成11年石垣島産のひとめぼれを供試材料として、循環型テンパリング乾燥機で乾燥途中の各パス毎に乾燥機からサンプリングし、インペラ粃すり機で粃すりし、粃殻と玄米の質量および水分を測定した。質量の測定には電子天秤(精度0.1mg)を使用し、水

分の測定は赤外線水分計を使用した。

III. 結果および考察

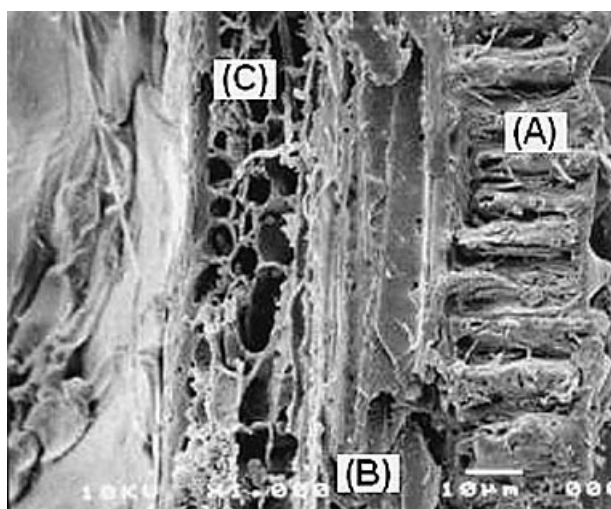
1. 籾殻の構造と通気性

図2は籾殻断面を走査電子顕微鏡で撮影したものである。表面と裏面では構造的に差異があり、玄米と接触する裏面においては、直径5 μ m前後の気孔が観察されている。玄米からの水分移動は籾殻を通して行われるが、この気孔は一旦水分を溜める働きをもっていると考えられる。この気孔が籾殻の裏面に位置するため、表面から裏面への時よりも裏面から

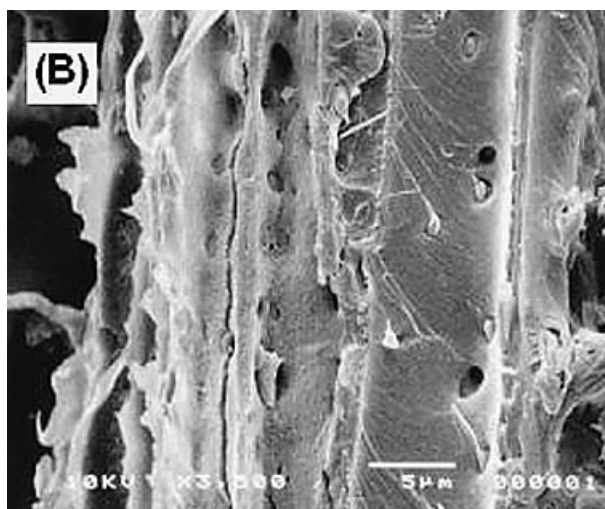
表面への水分移動は速いと推測される。乾燥と吸湿過程ではガス透過速度に差があるが、いずれも籾殻水分が少なくなるとガス透過量が大となるといわれている¹⁾。これは籾殻の水分低下によりこの気孔が増大するためにガス透過性が高くなるものと思われる。

2. 含有水分による籾と玄米の形状変化

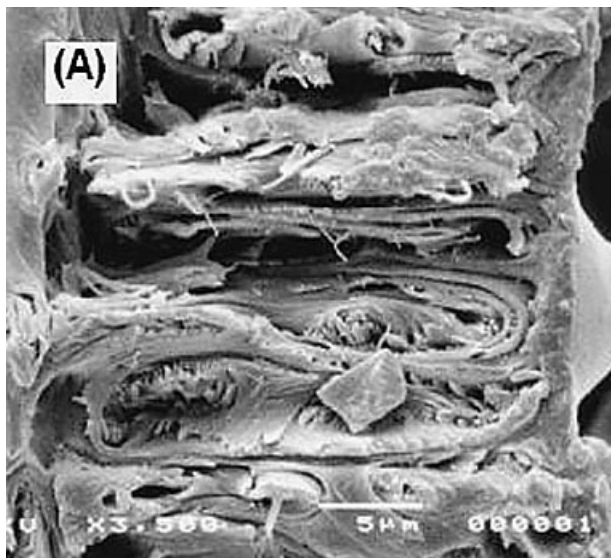
図3は水分別の籾と玄米の幅と推定体積を表している。乾燥と吸湿操作において、玄米は収縮と膨張があり形状が変化するが、籾殻はほとんど変化していない。籾殻の変化しない理由は、籾殻の細胞組織がシリカやリグニンの被膜により強固な構造となっ



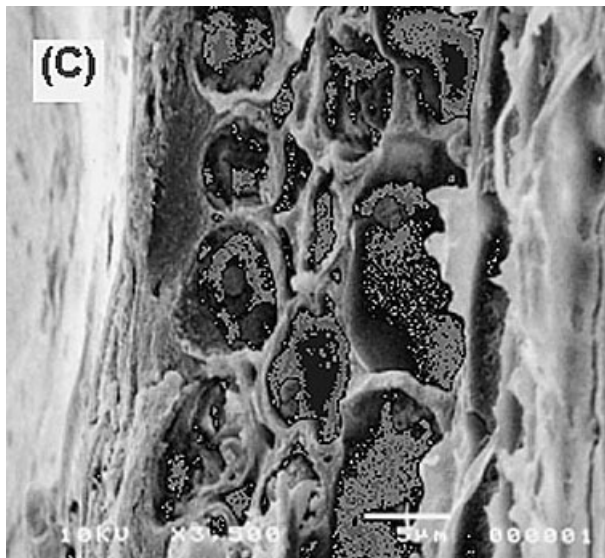
(a) 1,000 times magnified sectional view of rice husk.



(c) 3,500 times magnified sectional view at close location (B).



(b) 3,500 times magnified sectional view at close location (A).



(d) 3,500 times magnified sectional view at close location (C).

Fig. 2 A sectional view of husk by an electron microscope.

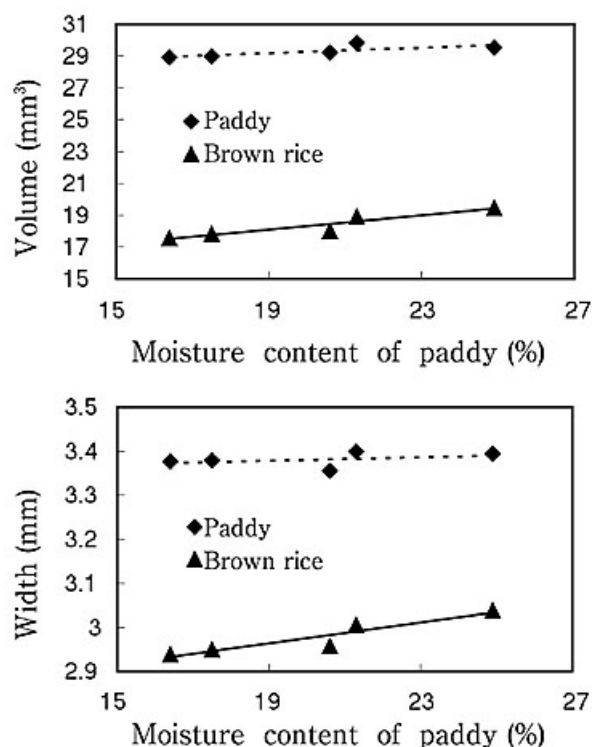


Fig. 3 Dimensional change of paddy and brown rice related to paddy moisture content.

ているためだと考えられる²⁾。

3. 粳穀と玄米の均衡水分

粳穀と玄米は異質の物質で構成されているので、それぞれ含み得る水分も異なる。乾燥過程の粳について、2日間貯蔵後の粳を脱ぶして粳穀と未熟粒を除いた整粒のみの玄米にして、それぞれの水分を測定した結果を図4に示す。また、玄米と粳穀の乾物重の比は整粒の場合に84.3:15.7といわれており³⁾、この数値を用いて整粒の粳水分を計算した。粳を構成する粳穀と玄米の安定水分は、粳穀と玄米の乾物重の比によって差が生ずるので、粳乾燥の高能率化を考える場合重要である。

図5は乾燥中の粳が1循環（1パス）する毎にその粳をサンプリングし、粳穀と玄米に分けた後それぞれの質量と水分を測定したものである。この場合は平均で玄米と粳穀の乾物重の比が79.8:20.2になっている。完全粒のみ（整粒）の場合に比べて玄米乾物重が小さくなっている。これは未熟粒が混入していたため玄米の比が小さくなったと考えられる。

粳水分といっても、玄米と粳穀に分けてそれぞれ水分を測定すると粳穀の水分低下は大きい、玄米は小さく大きな差になっている。

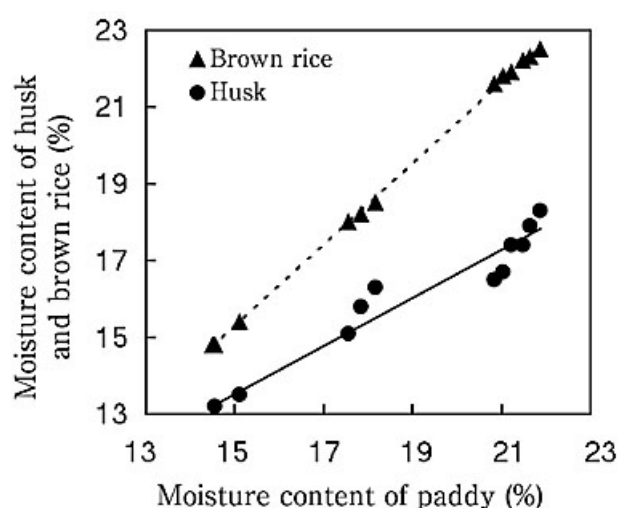


Fig. 4 Equilibrium moisture content of husk and brown rice after drying.

Husk : Brown rice (dry quantity) = 20.2 : 79.8

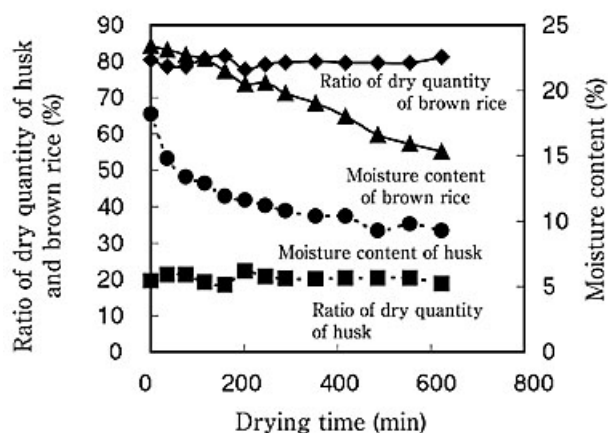


Fig. 5 Ratio of dry quantity of husk and brown rice.

4. 粳穀・玄米間の水分移動

乾燥およびテンパリング中の粳、粳穀および玄米の水分を見ると図6のようである。それらの水分移動は、初期水分24.4%の粳を45℃の熱風で5分間乾燥すると、水分は23.4%に変化する。同時に粳穀水分は19.7%→9.9%に、玄米水分は25.2%→24.8%に変化する。乾燥直後の粳穀・玄米間の水分差（以下初期水分差という）は14.9%となる。また、テンパリング中の穀温を41℃～42℃に制御したとき、テンパリング中は通気がないため、テンパリング開始後60分経過時点の粳水分は変化しないが、粳穀は9.9%→15.3%と水分増加（吸湿）になり、玄米は24.8%→24.1%と水分減少（乾燥）になる。このようなテンパリング中の粳穀・玄米間の水分移動は初期水分

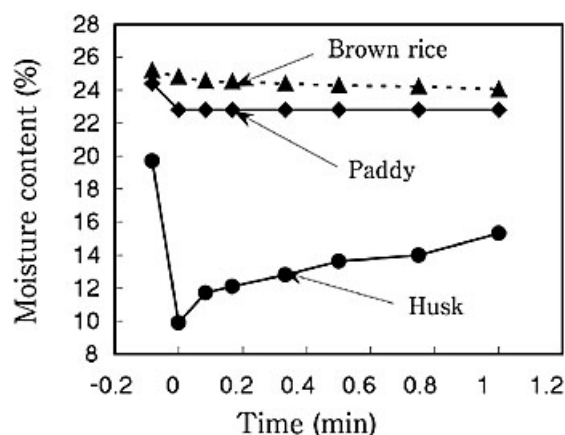


Fig. 6 Curve of moisture content during intermittent drying (0 hour: starting of tempering process).

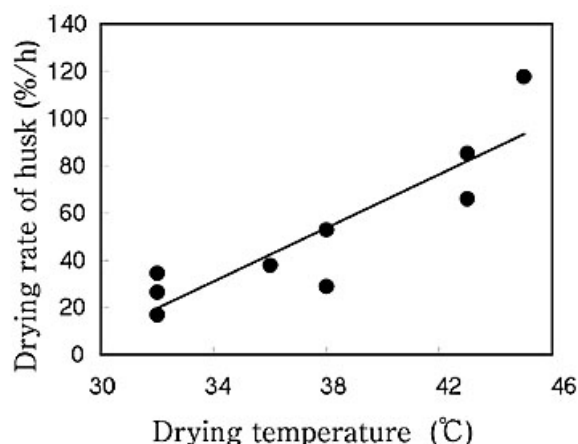


Fig. 7 Relation between drying temperature and drying rate of husk.

差および穀温に影響される。

なお、粳穀の乾燥速度は乾燥温度に左右され、乾燥温度と粳穀乾減率との関係を図7に示す。初期水分が16.4%~24.9%の粳を32℃~45℃の熱風で5min~15min間乾燥して得られた結果である。乾燥温度を高くすれば粳穀の乾燥速度は大きくなるが、後の米の品質との関連を考えると約45℃が限界である。また、同じ乾燥温度の場合でも粳穀乾減率の値にばらつきがあるのは、初期水分の違いによるものであると思われる。

5. 初期水分差と水分移動速度

粳穀・玄米間の水分移動はテンパリング開始時の粳穀・玄米間の初期水分差に影響される。図8は初期水分差のある粳穀と玄米でテンパリング時間に対する粳穀への水分移動量を穀温約36℃の場合について表したものである。テンパリングが60分経過した時点において、初期水分差14.1%、11.0%、6.8%に対応して粳穀への水分移動量として粳穀水分の上昇は5.0%、3.5%、1.9%となり、初期水分差が大きければ大きいほど、水分移動のポテンシャルが大きくなることが分かる。したがって、テンパリング中の玄米水分を短時間に速く減少させるためには、粳穀の水分をより低くすること、すなわち、品質保持の前提で乾燥温度を高くして粳穀水分を乾燥期間中に速く減少させることが効果的であり、玄米から粳穀への水分移動が速やかに行われるように乾燥を進めることが、乾燥速度を向上させることにつながると考えられる。

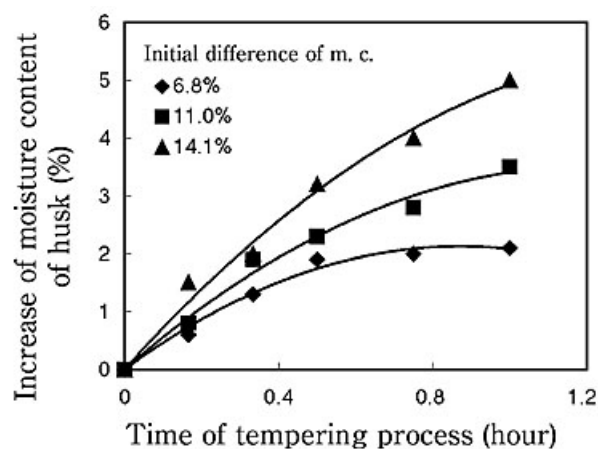


Fig. 8 Increase of moisture content of husk at different initial difference of moisture content.

6. 穀温と水分移動速度

テンパリング中の玄米から粳穀への水分移動は、穀温の影響を受けるので、時間経過と粳穀と玄米間の水分移動の関係を示すと、図9のようである。初期水分差が14.1%~14.9%の時、テンパリングが60分経過した時点における粳穀水分は穀温が高くなるほど、粳穀の水分上昇量が大きくなった。穀温を約5℃上昇させることによって粳穀の水分は0.4~0.9%の上昇となり、粳穀と玄米の乾物重比で換算すると玄米の水分は約0.1%多く減少する。品質に影響のない範囲内でテンパリング中の穀温を上昇させることは乾燥速度の向上に有効である。

粳穀・玄米間の水分移動速度は穀温と初期水分差の両方に影響されることが明確になったが、図10に示すように穀温に比べ初期水分差の方は水分移動速

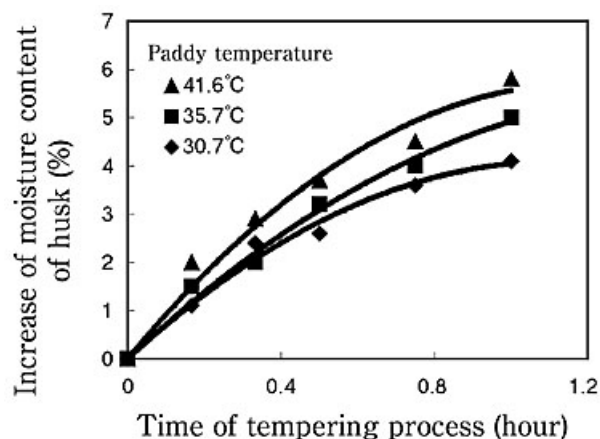


Fig. 9 Increase of moisture content at different paddy temperatures.

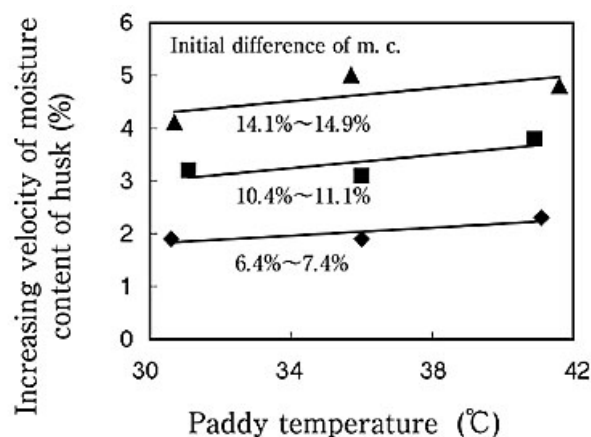


Fig. 10 Relation of increasing velocity of moisture content of husk and paddy temperature and the initial difference of moisture content of husk and brown rice at tempering process.

度に対する影響が大きい。本報告の実験結果で総合的に乾燥機による籾乾燥を考察すると、乾燥速度を向上するためにはまず乾燥部の熱風を45℃以上にするることによって、乾燥直後の籾殻・玄米間の水分差を15%以上にし、それからテンパリング中の穀温を35℃以上にすることが有効である。

IV. 摘 要

籾の間欠乾燥において、玄米と籾殻の水分移動を実験的に求め、両者間の水分移動速度について初期水分差と穀温の影響を検討した。その結果は、次のようである。

- 1) 籾殻のガス透過性を電子顕微鏡で組織面から観察し、乾燥すなわち、裏側から表側への水分移動が大きいことがわかった。
- 2) 乾燥直後でテンパリング期間に入る直前の玄米

と籾殻の水分差（初期水分差）が大きいほど、また、穀温が高いほど玄米から籾殻への水分移行速度が速いことが判明した。したがって、籾殻水分を低くしておくとテンパリング中の玄米から籾殻への水分移動が大きくなり、玄米の乾燥が進むことが判明した。

文 献

- 1) 佐藤正夫：籾の乾燥に関する研究。京大学位論文，京都 pp. 10-24 (1964)
- 2) 日本産業機械工業会：籾殻を主成分とした家畜飼料製造システムの開発研究。日本産業機械工業会発行，東京 pp. 21-25 (1981)
- 3) 山下律也：立毛中の籾水分変動と吸湿について。農業機械学会誌，**31**(3)，239-243 (1969)