

開発途上国における米の調製条件の最適化 (第2報)*

— インペラ式籾すり機の脱ぶ特性および貯蔵時の品質変化 —

Ly Hoang Tung*¹・後藤清和*²

要 旨

東南アジアの開発途上国等におけるポストハーベストでは、不適切な処理のために大量の穀物ロスに繋がっているものと思われる。前報では、日本で通常に使用されるゴムロール式籾すり機について、籾の乾燥条件が脱ぶ特性に与える影響について述べた。インペラ式籾すり機はゴムロール式に比べて脱ぶ率が安定し、メンテナンスが比較的容易である。そこで、種々の乾燥および脱ぶ条件における玄米の品質を測定し、インペラ式籾すり機を導入することの是非を検討した。その結果、脱ぶ率が安定していること、エネルギー効率が高いこと等の理由により当方式は開発途上国にとって有効であると判断された。

[キーワード] 開発途上国, 穀物ロス, 乾燥条件, インペラ式籾すり機, 脱ぶ特性, 肌ずれ, 新鮮度

Studies on the Optimum Conditions for Rice Post-harvest Processes
in Developing Countries (Part 2)*— Husking Properties of Impeller Type Husker and Changes of
Brown Rice Quality During Storage —Tung Hoang LY*¹, Kiyokazu GOTO*²

Abstract

A large amount of grain loss frequently occurs in developing countries especially in South-east Asia due to inappropriate post-harvesting processes. In our previous report, the influence of the drying conditions on husking properties using the rubber roll type husker was mentioned. Compared with the rubber roll type, the impeller type husker has additional advantages such as stable husking rate and easy maintenance. Therefore, we considered the possibility of introducing the impeller type husker to developing countries. In this research, the correlation of drying and husking conditions with quality of brown rice were examined using the rubber roll and impeller type husker. The results showed that the impeller type husker is useful from the viewpoints of stability of husking rate and high power efficiency.

[Keywords] developing country, grain loss, drying condition, impeller type husker, husking property, skin damage, freshness

I 緒 言

本研究の第1報において、現在、日本で主として使用されているゴムロール式籾すり機による各種脱ぶ特性お

よび乾燥条件（乾燥条件と仕上げ水分）が脱ぶ特性に与える影響について述べた（Ly Tung et al., 2005）。その中で、通風温度が50℃程度になること、あるいはロール回転差率が必要以上に大きくなることにより、脱ぶ率、

* 2005年9月 農業環境工学関連7学会2005年合同大会（金沢大学）にて講演

*1 会員, 岐阜大学大学院連合農学研究科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 TEL 058-293-2889)

The United Graduate School of Agricultural Sciences, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu-shi, 501-1193, Japan

*2 会員, 岐阜大学応用生物科学部 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 TEL 058-293-2889)

Faculty of Applied biological sciences, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu-shi, 501-1193, Japan ; e-mail of corresponding author : goto@cc.gifu-u.ac.jp

表 1 乾燥条件
Table 1 Drying conditions

| Materials | Initial moisture (%w.b.) | Drying condition (°C-%RH) | Finishing moisture (%w.b.) | Drying time (h) | Air flow rate (m ³ /s/t) | Drying speed (%w.b./h) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------|
| 37°C-12% | 23.2 | 37-20 | 12.6 | 10.0 | 1.2 | 1.1 |
| 37°C-14% | 23.2 | 37-20 | 14.2 | 8.0 | 1.2 | 1.1 |
| 42°C-12% | 23.2 | 42-16 | 12.3 | 7.7 | 1.2 | 1.4 |
| 42°C-14% | 23.2 | 42-16 | 14.1 | 5.3 | 1.2 | 1.7 |
| 50°C-12% | 23.2 | 50-13 | 11.9 | 6.7 | 1.2 | 1.7 |
| 50°C-14% | 23.2 | 50-13 | 14.0 | 5.3 | 1.2 | 1.7 |

胴割れ率、碎米率、脱ぶ効率等多くの面で悪い影響が現れることを明らかにした。日本では、これらの点は作業者に徹底されており、米粒の品質維持に問題が生じない。しかし、開発途上国においては、天日乾燥が多い、適当な機械が配備されていない、また、オペレータの知識が不十分であることなどにより、収穫後の不適切な調製工程により品質を損ねる可能性が高い。

衝撃式の脱ぶを行うインペラ式すり機はゴムロール式に比べて、運転条件の設定が単純であり、しかも脱ぶ率が安定しており、メンテナンスが比較的容易である。そこで、インペラ式すり機を開発途上国に導入することの可否を検討した。インペラ式すり機による脱ぶ特性は報告されている (Shitanda et al., 2001)。その中で、米粒の形状の影響が明らかにされているが、本研究で問題にしている原料の乾燥履歴についての考察はなされていない。また、米は少なくとも数ヶ月は貯蔵する必要がある。開発途上国においては、比較的高温であるにもかかわらず、低温倉庫は望めない場合が多い。したがって、調製条件と貯蔵中の品質変化についても検討を行った。

II 実験方法

1. 実験材料

実験材料として平成 15 年岐阜県産の「ハツシモ」を用いた。収穫時の水分は約 23% w.b. であった (135°C-24 h-10 g 粒法で測定し、105°C-5 h-5 g 粉碎法に換算)。テスト用小型循環乾燥機 (200 kg 容量) を用いて通風温度を 3 段階 (37, 42, 50°C) に設定して乾燥を行った。一般に乾燥中の最高穀温は通風温度より約 10°C 低いと言われているが、今回の計測結果も符合していた。また、品質が低下するといわれる過乾燥の影響を検討するために仕上げ水分を 14.0% w.b. と 12.5% w.b. を目標として乾燥を行った。乾燥工程の概要を表 1 に示す。脱ぶ実験の前に風力選別を行い、未熟粒は極力取り除いた。

2. すり装置

日本において、通常、脱ぶはゴムロール式すり機が用いられる。しかし、開発途上国では運転技術が未熟な場合が多く、運転条件の調整が複雑なゴムロール式すり機よりも調整が単純で脱ぶ率の高いインペラ式すり機の導入が有効と考えられる。竹倉らは脱ぶ方式による仕上げ玄米および貯蔵後玄米の品質差を検討している

(Takekura et al., 2004)。そこでは、玄米での貯蔵を前提にすると、インペラ式の脱ぶによる玄米はゴムロール式に比べて劣る品質項目が多くなっている。しかし、開発途上国においては籾あるいは白米での貯蔵が多く、玄米での長期におよぶ貯蔵はなされない。本報では、小型インペラ式すり機 ((株)大竹製作所, FC1K (羽根車直径: 250 mm, ブレード幅: 30 mm)) を用いて種々の乾燥条件で仕上げられた籾に対する脱ぶ特性を検討した。また、通常、日本で使用されているゴムロール式すり機による脱ぶ特性と比較するためにテスト機 ((株)サタケ, THU-35 A (ロール直径: 100 mm, ロール幅: 35 mm)) の結果を用いた。

3. 測定項目および方法

品質および所要エネルギーに関する測定項目は i) 脱ぶ率, ii) 胴割れ率, iii) 碎米率, iv) 脱ぶ能率, v) 脱ぶ効率, vi) 肌ずれ度, vii) 貯蔵中新鮮度とした。i) ~ v) については前報において説明を行った。vi), vii) については、実験機器とともに以下に説明を行う。

(1) 玄米の品質測定

脱ぶ後に胴割れ率等の玄米品質を測定するために光学的手法による穀粒判別機 ((株)サタケ, RGQI 10 A) を用いた。穀粒判別機による品質判定のために、脱ぶ後の玄米を縮分機 ((株)藤原製作所, 穀粒均分機) で約 1,000 粒を 3 群作り、それらの平均値を求めた。

(2) 脱ぶ電力の測定

脱ぶ時の電力効率を検討するために (Yamashita. et al., 1989), 運転中の電力消費を電力計 (日置電気(株), 3184) およびデジタル記録計 (横河電機(株), AR 1100) を用いて記録を行い、分析した。

(3) 肌ずれの測定

脱ぶにより生ずる肌ずれはヌカ中に多く含まれる脂質の酸化を促すため、脂肪酸生成の原因となる。そのため、脱ぶされた玄米の肌ずれの程度を測定した。玄米をヨード液 (ヨウ素 0.5 g, ヨウ化カリウム 15 g, 水 500 cc の構成比で作成) に 2 分間浸漬後水洗して自然乾燥し、色差計 ((株)日本電色, A-300) により明度 (L* 値) を測定し、肌ずれ度と定義した。肌ずれ程度が大きいほどヨウ素デンプン反応による黒紫色の呈色が著しくなり暗い色となるので、その明度 (L*) である肌ずれ度は数値として小さくなる。

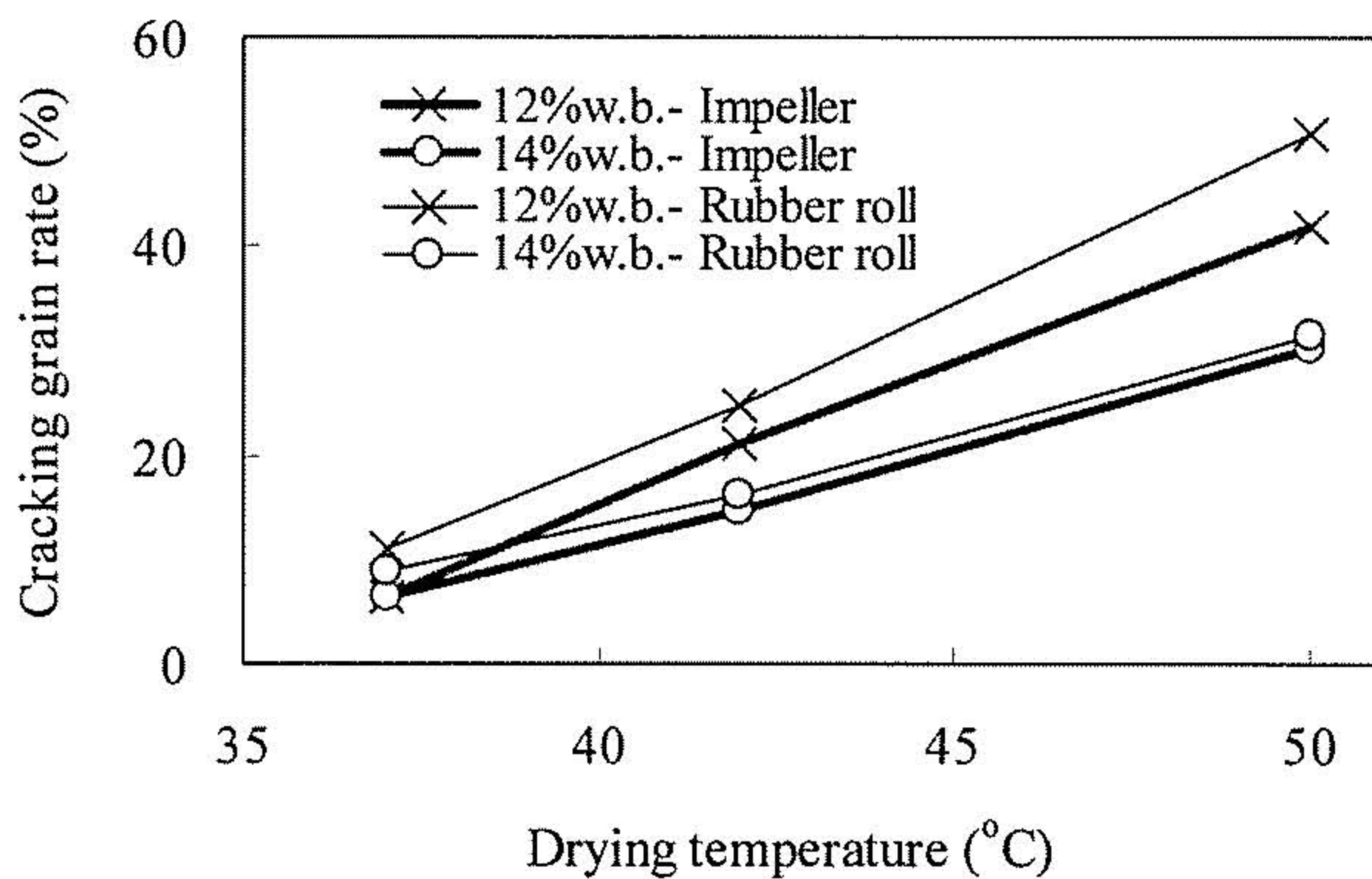


図1 乾燥条件と胴割れ率の関係

Fig. 1 Relation of drying condition and cracking grain rate

(4) 貯蔵中玄米の新鮮度測定

種々の乾燥および脱ぶ条件で得られた玄米について、15°Cの定温庫で約8ヶ月間保存したときの品質を乾燥条件と脱ぶ条件の関係で検討した。試験管に4mLの新鮮度検定試薬((株)サタケ, RFDM用試薬)と2gの玄米を入れて振とう(タイテック(株), MT)した後、ガラスセルに液を回収し、分光光度計((株)島津製作所, UV-3100)で波長615nmにおける吸光度を測定して新鮮度と定義した。新鮮であるほど吸光度が高くなる。本検定試薬による新鮮度は古米化の有力な指標である脂肪酸度および酸性度指示薬による酸性度(pH)(Inspection Section, Food Agency, 1993)との相関が高い(Kawakami et al., 2004)。

4. 実験区

前記のように乾燥履歴が異なる乾籾を材料としてインペラ式籾すり機による脱ぶ特性を検討するために、無段変速装置を利用して脱ぶ用羽根車の回転数を3段階(3,357, 3,558, 3,770 rpm)に設定して、衝撃力の影響を考察した。比較対照としてのゴムロール式籾すり機の脱ぶ特性としては、ロール回転差率を11.5%(呼び:10%), 20.1%(同:20%)および45.5%(同45%)の3段階、ロール間隙は0.7, 1.0, 1.4mmの3段階で計9種類の運転条件とした。

III 実験結果および考察

インペラ式籾すり機による脱ぶ特性を測定した結果、材料籾の乾燥条件が同じであれば、脱ぶ率、胴割れ率、碎米率等の玄米の品質に関する特性は、設定された羽根車の回転数には影響を受けず、ほぼ一定であった。一方、運転の特性である脱ぶ能率と脱ぶ効率については、羽根車の回転数により変化が見られた。

本研究は乾燥条件と脱ぶ特性の関係についての検討であるので、3段階の羽根車の回転数における各特性の平均値を代表値として検討することとした。また、比較として用いたゴムロール式籾すり機については、ロール回転差率は前述のように3段階としたが、11.5%の場合は脱ぶ機能を発揮できないので各種特性値の計算から除外した。

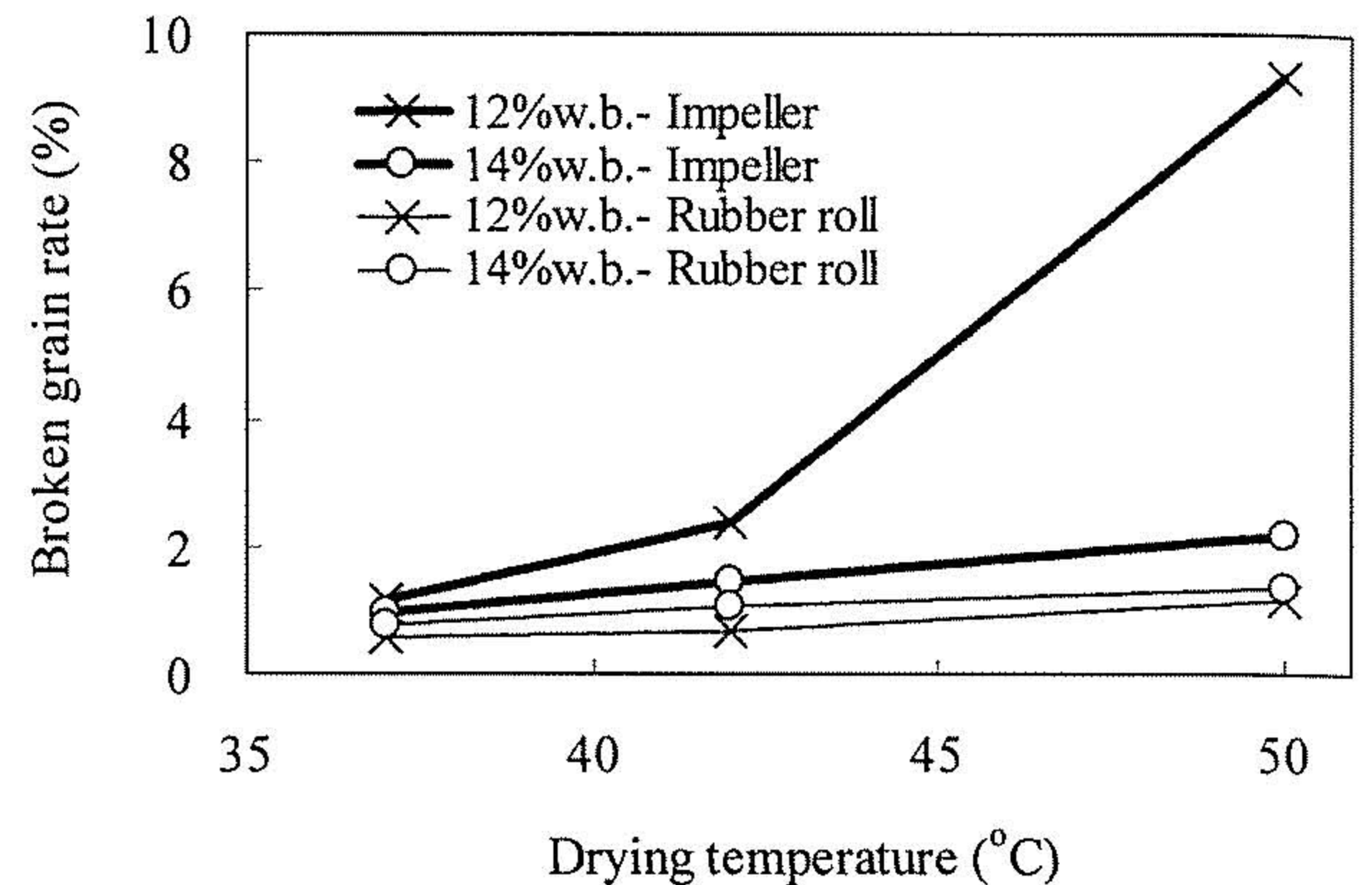


図2 乾燥条件と碎米率の関係

Fig. 2 Relation of drying condition and broken grain rate

1. インペラ式籾すり機による脱ぶ特性

(1) 脱ぶ率

本研究の実験区の範囲においては、水分が14% w.b.程度以下の籾をインペラ式籾すり機で脱ぶすると、籾水分や羽根車回転数によらず、98%以上の脱ぶ率が確保される。第1報で述べたように、ゴムロール式籾すり機がロール間隙やロール回転差率により脱ぶ率が大きく変化するのと異なる点である。このため、インペラ式籾すり機の運転に際しての調整が容易となり、開発途上国において有利と考えられる。

(2) 胴割れ率

籾の乾燥条件(温度および仕上げ水分)と脱ぶ後の胴割れ率の関係をインペラ式とゴムロール式を比較して図1に示す。比較的安全とされている通風温度が42°C以下でも温度が高いほど胴割れ率が高くなる傾向が明らかである。また、過乾燥玄米は通常水分玄米より胴割れ率が高くなるが、通風温度が高いほどその差は著しい。過乾燥となった段階で、脱ぶ後の胴割れ率が高くなることが避けられないこととなり、乾燥段階での注意が必要である。

インペラ式で脱ぶした場合、その回転数によらず玄米の胴割れ率はほぼ一定である。また、それらの値は、ゴムロール式脱ぶにおける低ロール回転差率(11.5%)でしかも広いロール間隙(1.4mm)の時の胴割れ率とほぼ同じ値となる。これらの結果より、インペラ式脱ぶによる胴割れの発生は少なく、大半は乾燥過程で生じていると考えられる。

(3) 碎米率

籾の乾燥条件と脱ぶ後の碎米率の関係を図2に示す。仕上げ水分が14% w.b.程度であれば、通風温度が高いと碎米率が高くなる傾向は見られるが、値が小さいので脱ぶによる碎米発生は現実的な問題とはならないと思われる。インペラ式は通常水分でもゴムロール式に比べるとやや碎米率が高くなる。通風温度が42°Cを超えさらに過乾燥となると、インペラ式の脱ぶにおいて急激に碎米率が増加し、50°Cになると約10%に達する。開発途

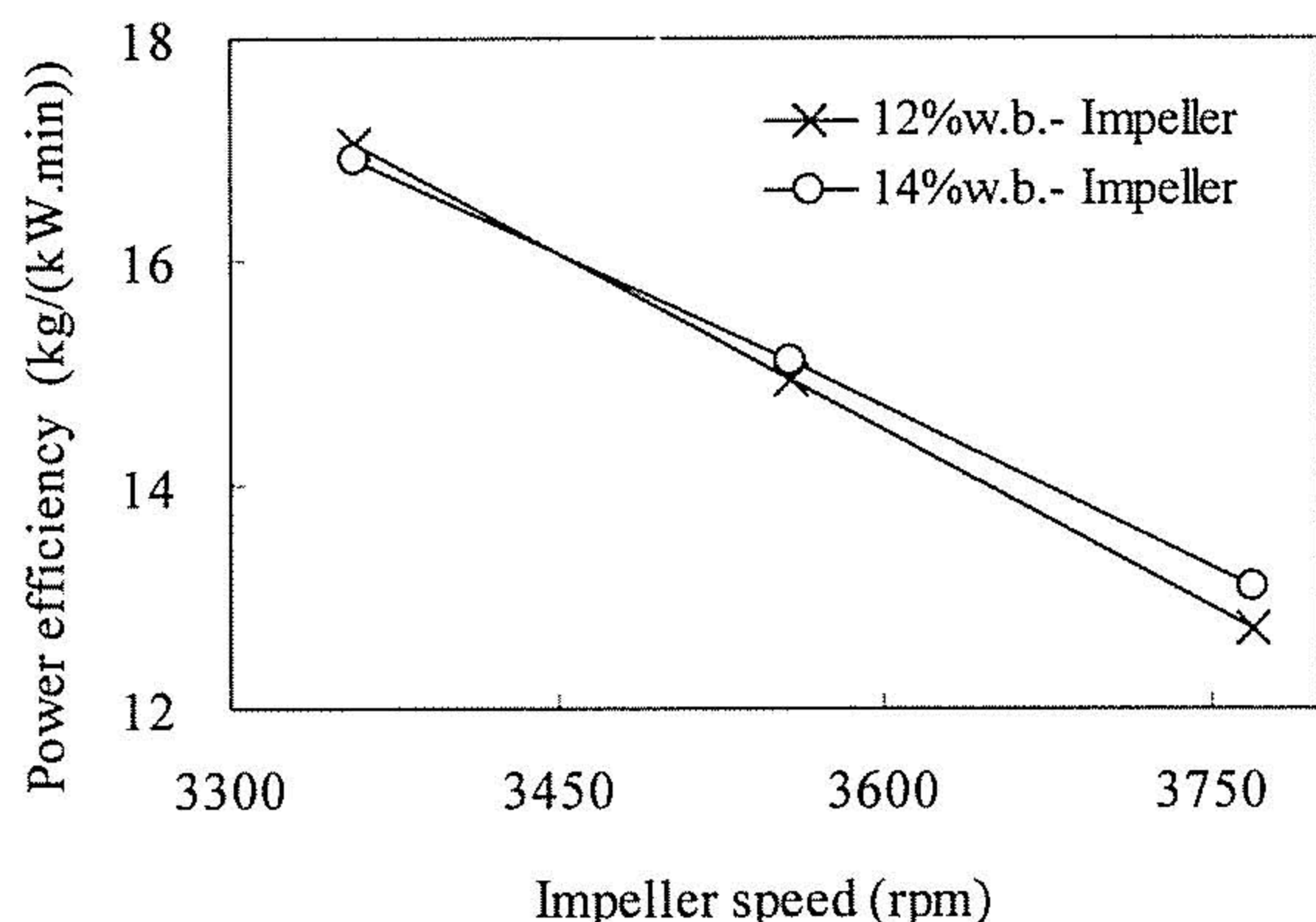


図3 インペラ回転数と脱ぶ効率の関係

Fig. 3 Relation of impeller speed and power efficiency

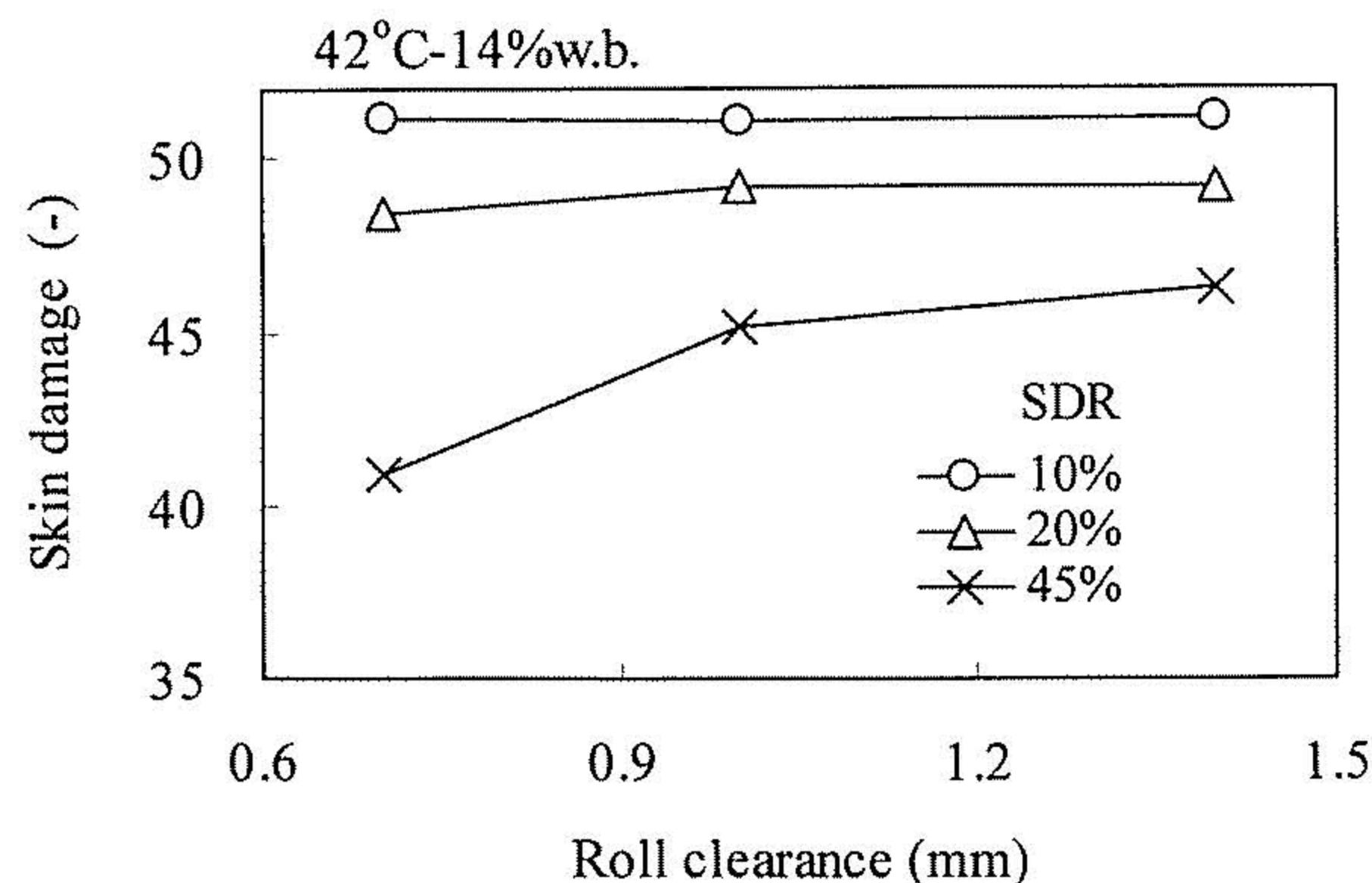


図5 ロール間隙と肌ずれの関係

(注：SDRはロール回転差率)

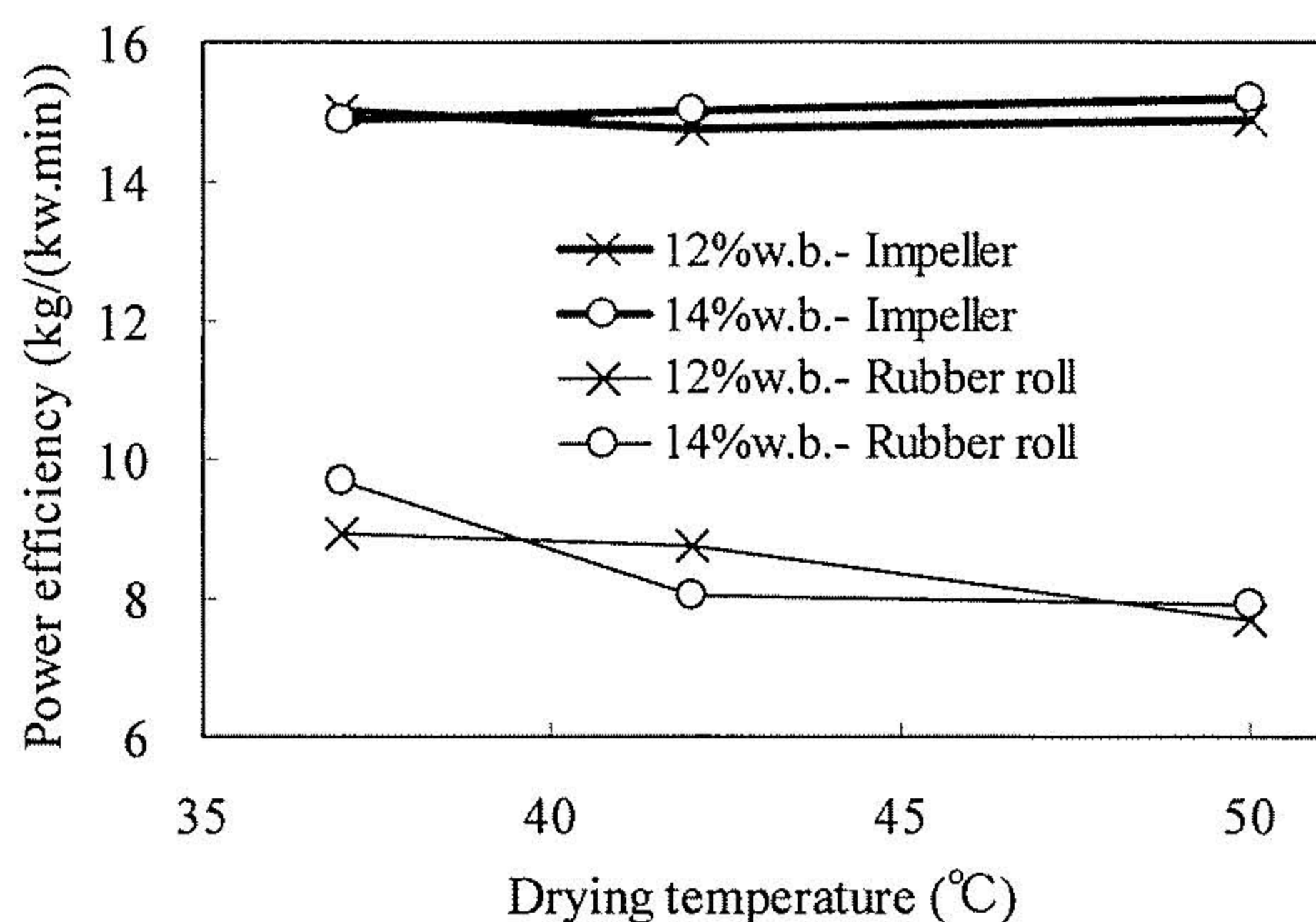
Fig. 5 Relation of roll clearance and skin damage
(note : SDR-Rolls Speed Difference Rate)

図4 乾燥条件と脱ぶ効率の関係

Fig. 4 Relation of drying condition and power efficiency

上国において脱ぶ操作が容易な点でインペラ式を導入する場合は、通風温度および仕上げ水分に十分注意する必要がある。

(4) 脱ぶ効率

実際に舂すり作業を行う際には脱ぶ能率 [例えば kg/h] あるいは脱ぶ率が実用的な値の範囲において脱ぶ効率 [例えば kg/(kW・min)] が最大となる条件がエネルギー面からは優れている。ただし、仕上がり玄米における胴割れ等の品質を含めて、脱ぶ条件の総合的な考察が必要である。

インペラ式における羽根車の回転数と脱ぶ効率の関係を図3に示す。仕上げ水分によらず、羽根車回転数が大きくなるほど脱ぶ効率は低下する。これは、回転数が大きくなるにつれて消費電力が大きくなるが、脱ぶ率はいずれも高くほぼ一定であることによる。

乾燥条件と脱ぶ効率の関係を図4に示す。通風温度が高くなるにつれてゴムロール式による脱ぶ効率は緩やかな低下を示すのに対し、インペラ式の場合はほぼ一定値を示す。使用機種が実用機ではないが、インペラ式の脱ぶ効率はゴムロール式の1.6倍以上を示しており、脱ぶのエ

ネルギーやコストを大幅に節減できる可能性がある。その中でも羽根車回転数を適正に選ぶことにより高い脱ぶ効率を実現することができる。しかし、前述のように、インペラ式の場合、通風温度が50°Cになると、胴割れ率の増加や、特に過乾燥となったときの碎米率が非常に高くなるため、通風温度や仕上げ水分には注意が必要である。

2. 玄米の品質変化

(1) 玄米の肌ずれ

通風温度が3段階 (37, 42, 50°C) および仕上げ水分が2段階 (12.5%, 14.0% w.b.) の試料について、ゴムロール式とインペラ式により脱ぶされた玄米の肌ずれを測定した。図5は42°Cで14.1% w.b.に乾燥された試料(42°C-14% w.b.)に関するゴムロール式の結果である。図からわかるように、ロール回転差率が大きくなると肌ずれが著しくなる。ロール回転差率が45%の場合、ロール間隙と相乗的に肌ずれに対して影響を及ぼすが、回転差率が20%以下になるとロール間隙の影響はなくなる。回転差率が10%では脱ぶ率が低く実用的ではないが、肌ずれはほとんど生じていない。その場合の肌ずれ度は約51である。インペラ式は衝撃によって脱ぶされるため、ゴムロール式と異なり、衝突部位に点状に肌ずれが生ずる。そのため、図6に見られるように、今回の実験区における羽根車の回転数の範囲では、回転数つまり衝撃力によらず肌ずれ度はほぼ一定値となる。

乾燥条件と肌ずれの関係を図7に示す。肌ずれは仕上げ水分が低い方がその発生が少なく、通風温度には影響を受けていない。以上より、肌ずれは舂水分および脱ぶ条件、特に、ゴムロール式におけるロール回転差率により決定されることがわかった。ロール回転差率が適正に選ばれていれば、肌ずれは脱ぶ方式によらず仕上げ水分のみの影響を受けることになる。

(2) 貯蔵中の品質変化

脱ぶ後、15°Cの定温庫で約8ヶ月間保存したときの品質を検討した。(42°C-14% w.b.)の試料についてゴム

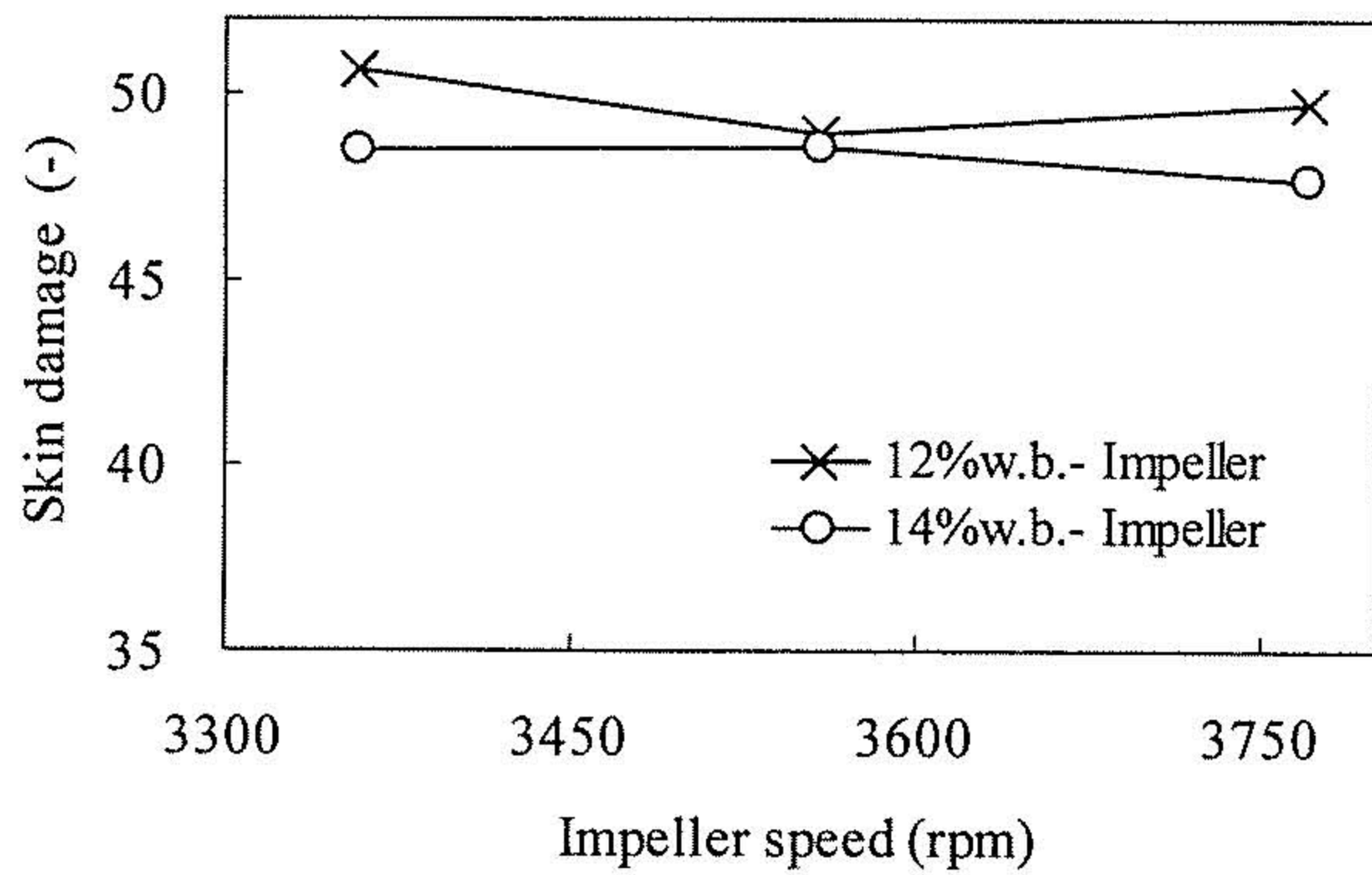


図6 インペラ回転数と肌ずれの関係

Fig. 6 Relation of impeller speed and skin damage

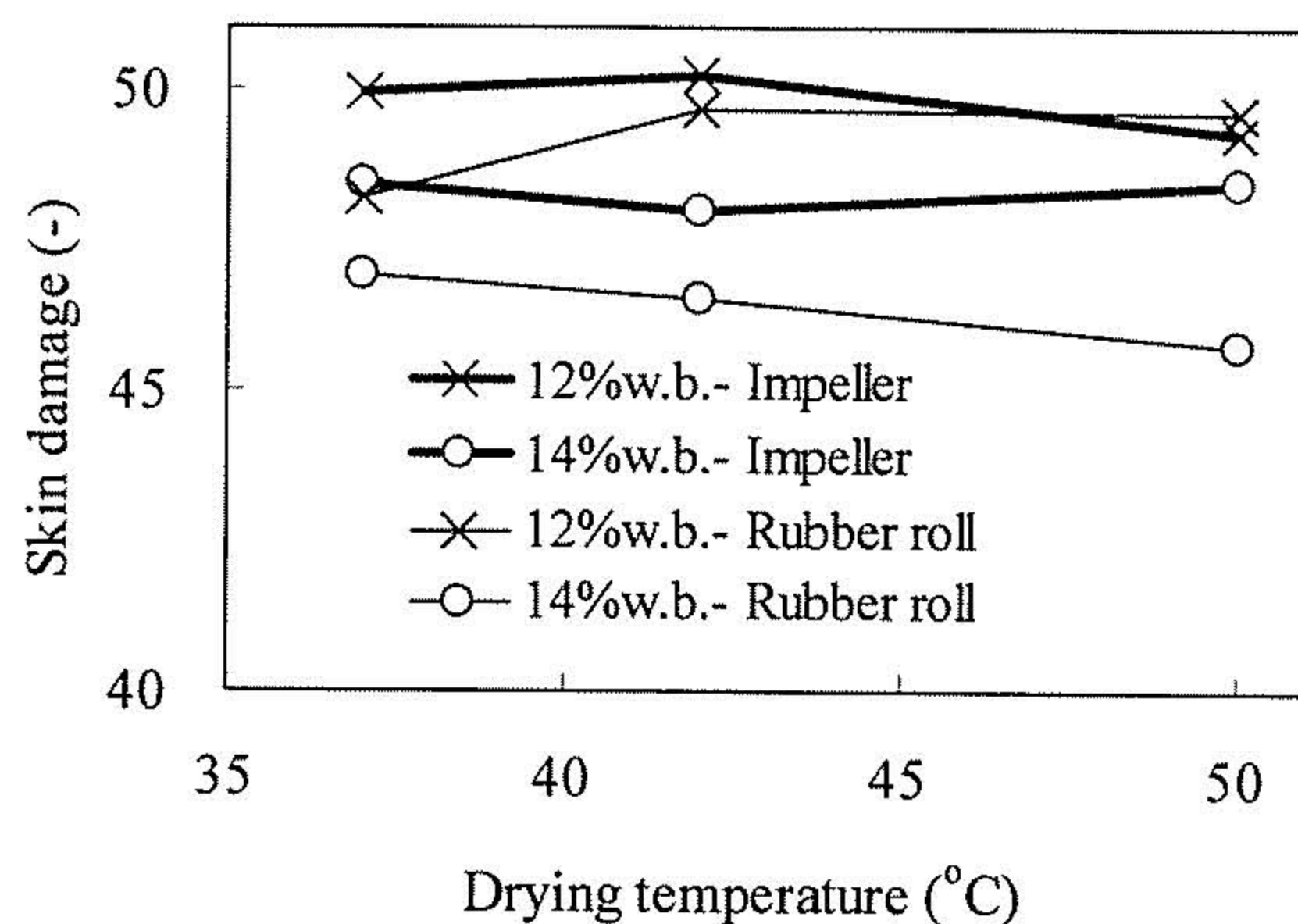


図7 乾燥条件と肌ずれの関係

Fig. 7 Relation of drying condition and skin damage

ロール式で脱ぶした玄米の新鮮度を図8に示す。ロール回転差率が大きいほど、そして、ロール間隙が小さいほど新鮮度が低くなり、品質の劣化が進んでいる。肌ずれ発生の特徴とは異なり、ロール回転差率が20%以下でも、ロール間隙が小さいほど新鮮度が損なわれる傾向が見られる。これは、ロール間隙が小さいほど、米粒に対するロール通過時の圧縮力が大きくなり、ヌカ中に含まれる脂質の保護膜(リン脂質膜)が破壊されやすくなるためと推測される(Aihara, 1986)。したがって、ゴムロール式による脱ぶの際は、品質維持のためにロール間隙は脱ぶ率が実用の範囲においてできる限り大きくとることが必要である。通風温度42°Cの試料について、インペラ式の脱ぶによる新鮮度の変化を図9に示す。図より、回転数によらず、新鮮度はほぼ等しいことがわかる。これは、脱ぶの際の衝撃はある一点で発生し、衝撃力の大小にかかわらず、リン脂質膜の破壊が起こる面積はほぼ一定であることが理由であると思われる。

乾燥条件と新鮮度変化の関係を図10に示す。ゴムロール式の方が新鮮度を維持できることが明らかであり、同様の結果が報告されている(Takekura et al., 2004)。また、その理由として、粳への加熱温度が高いほど、酵素活性の温度特性により、その後の脂肪酸度が低

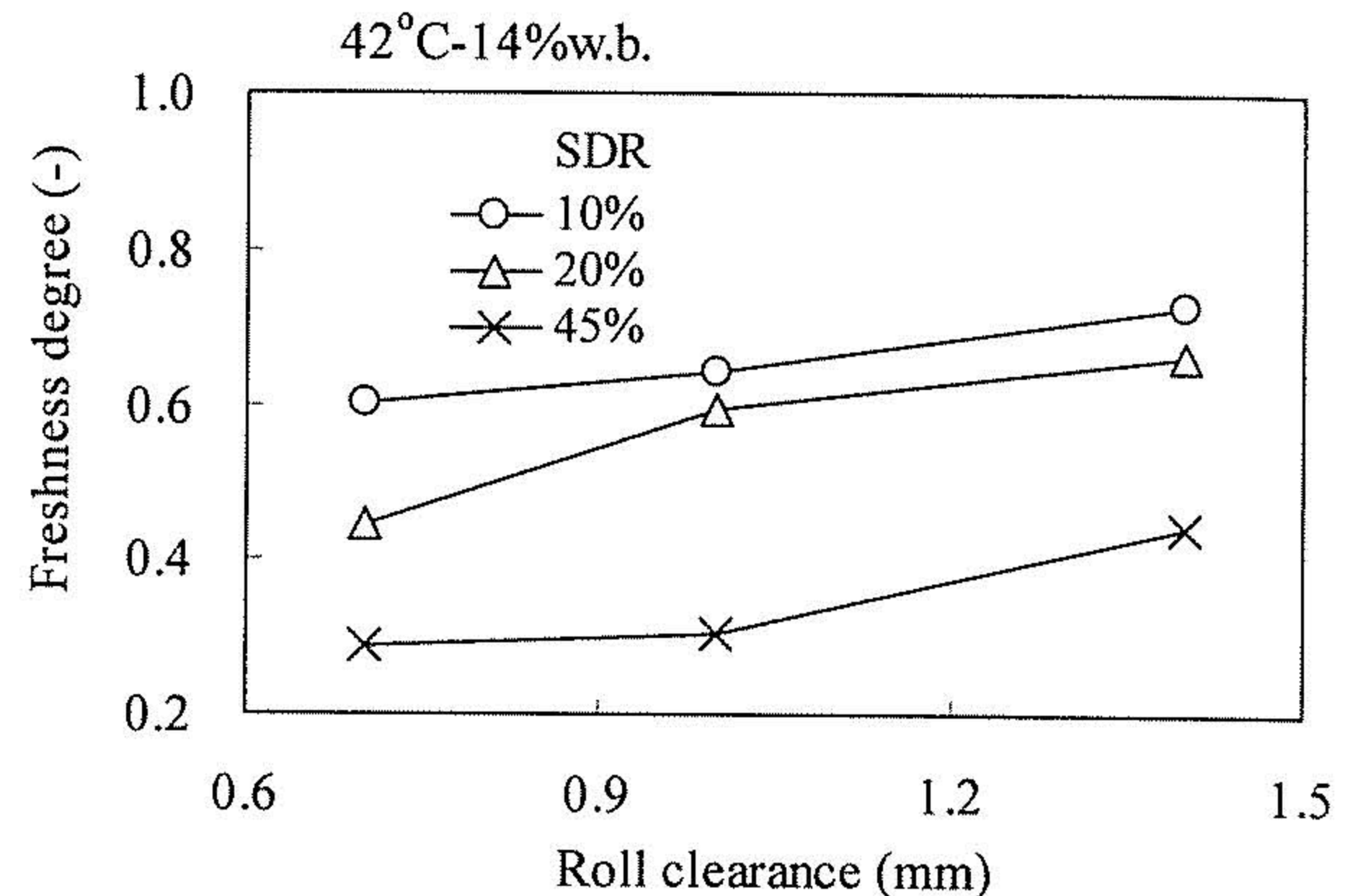


図8 ロール間隙と新鮮度の関係

Fig. 8 Relation of roll clearance and freshness degree

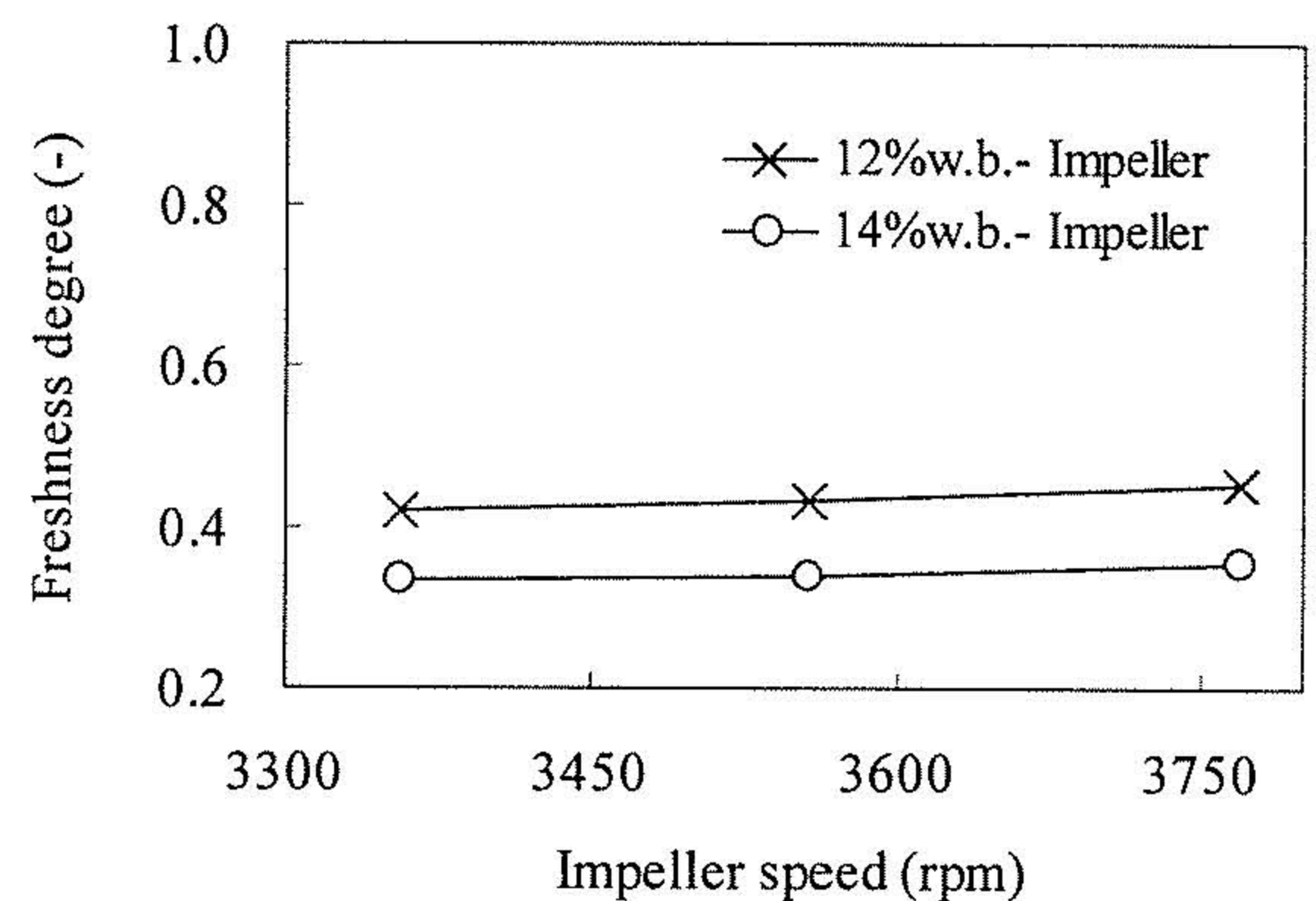


図9 インペラ回転数と新鮮度の変化

Fig. 9 Relation of impeller speed and freshness degree

くなることが示されている(Hikida et al., 1993)。本実験においては、両方式とも水分が低い方が新鮮度は保たれるが、通風温度が高いほど、ゴムロール式の場合新鮮度は高くなり、インペラ式は逆の傾向を示した。方式間で温度特性が逆になることの原因は不明であるが、各種の品質指標を考慮すると、通風温度を高くする選択肢はないといえる。貯蔵玄米の品質変化を脂肪酸度で検討する場合、従来は貯蔵温度と水分で論じられたが、今回の研究結果より、通風温度、脱ぶの方式や条件にまでさかのぼることが必要であることがわかった。

(3) 肌ずれと品質変化の関係

乾燥および脱ぶ条件をすべてまとめて、肌ずれ度と新鮮度の相関関係を図11に示す。図より、肌ずれが著しいほど重要な品質指標である新鮮度が低下する傾向は明らかである。ゴムロール式とインペラ式は脱ぶ原理が異なり、肌ずれの形態に差があるため、同一の線上には乗らない。また、前述のようにインペラ式によると肌ずれ度の変動が小さいため、相関係数が低くなっている。

以上の結果からわかるように、収穫後の乾燥および脱ぶの条件によって肌ずれは種々の大きさとなる。その結果として新鮮度は幅広い値を取りうるため、品質維持に

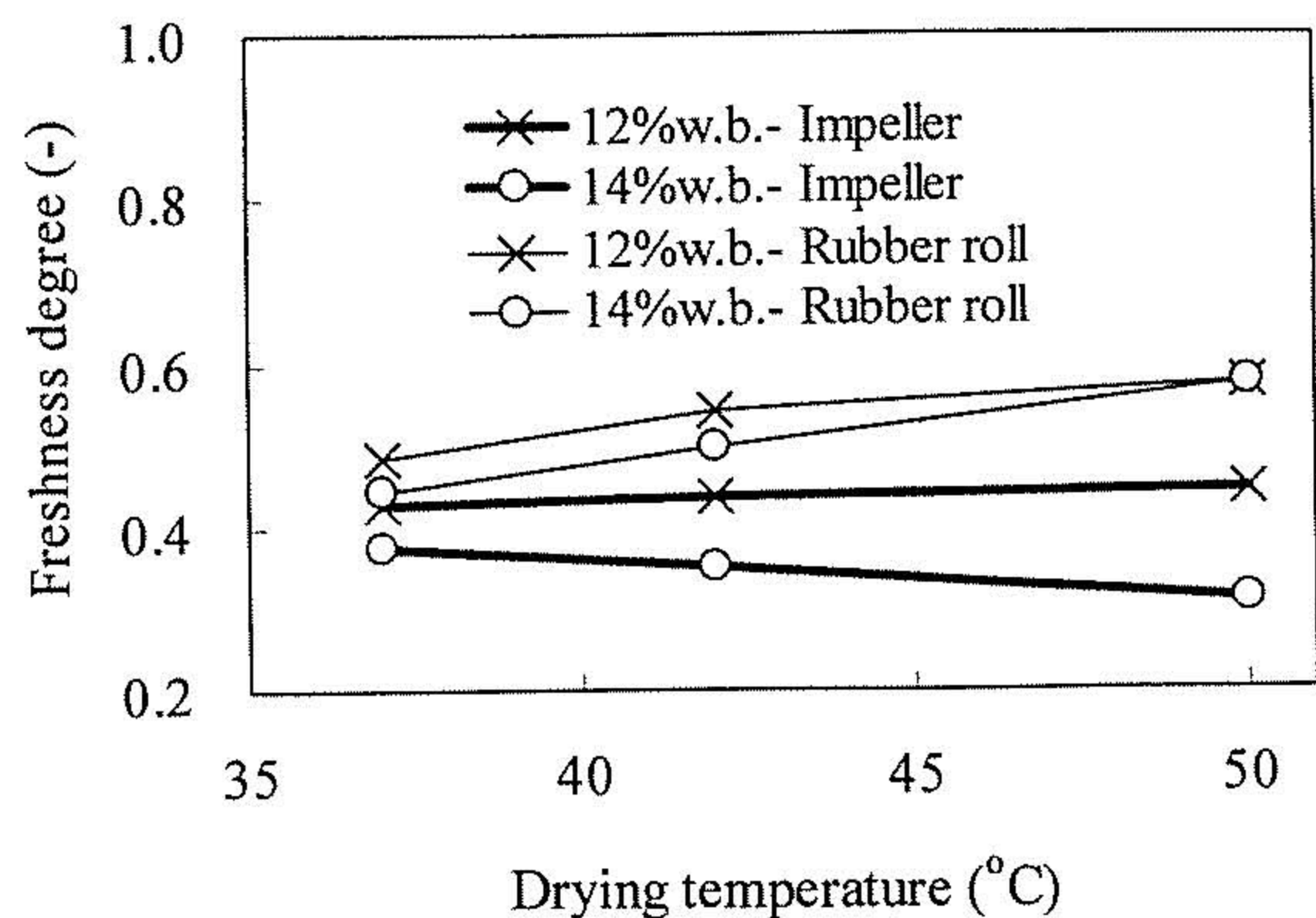


図 10 乾燥条件と新鮮度の関係

Fig. 10 Relation of drying condition and freshness degree

についての注意が必要である。

以上の結果を総合的に考察する。運転条件の調整が容易で、脱ぶ特性が安定しているインペラ式籾すり機は、オペレータの知識が不足しがちな開発途上国においては有効な装置であると考えられる。インペラ式の脱ぶによる胴割れの発生はほぼなく、肌ずれに起因する玄米貯蔵中の新鮮度についてはゴムロール式に比べてやや劣るが、途上国においては玄米での貯蔵がほとんど行われないので問題はない。小型機のレベルではあるが、脱ぶ効率はゴムロール式の約 1.6 倍となり、エネルギー節減の面からも効果が認められる。ただし、通風温度が高い状態で過乾燥になると、インペラ式の脱ぶにより碎米が大量に発生し、大きなロスとなる。天日乾燥、機械乾燥を問わず、この点には注意を払う必要がある。

IV 摘 要

脱ぶ率が安定しており、メンテナンスが容易であるインペラ式籾すり機の脱ぶ特性を検討した。また、脱ぶ後の品質変化を測定のうち、開発途上国へ導入することの是非を考察した。得られた知見を次に述べる。

- 1) 実用的な運転条件において、インペラ式による脱ぶは、籾水分やインペラ回転数によらず、98%以上の脱ぶ率が確保され、安定した運転が可能である。
- 2) インペラ式籾すり機による胴割れ率はゴムロール式に比べてやや低く、脱ぶによる胴割れ発生はわずかと見られる。
- 3) 仕上げ水分が通常であれば、碎米率は低く問題はないが、インペラ式はゴムロール式に比べるとやや碎米率が高い。過乾燥になると碎米率は高くなり、通風温度が 50°C になるとその値は約 10% に達する。
- 4) インペラ式によると、脱ぶ率がほぼ一定であり、回転数が大きいほど脱ぶ効率が低下するので、実用範囲において回転数を抑制するべきである。インペラ式の脱ぶ効率はゴムロール式の 1.6 倍以上を示しており、脱ぶのエネルギーを大幅に節減できる可能性がある。
- 5) ゴムロール式では運転条件によって肌ずれの程度が

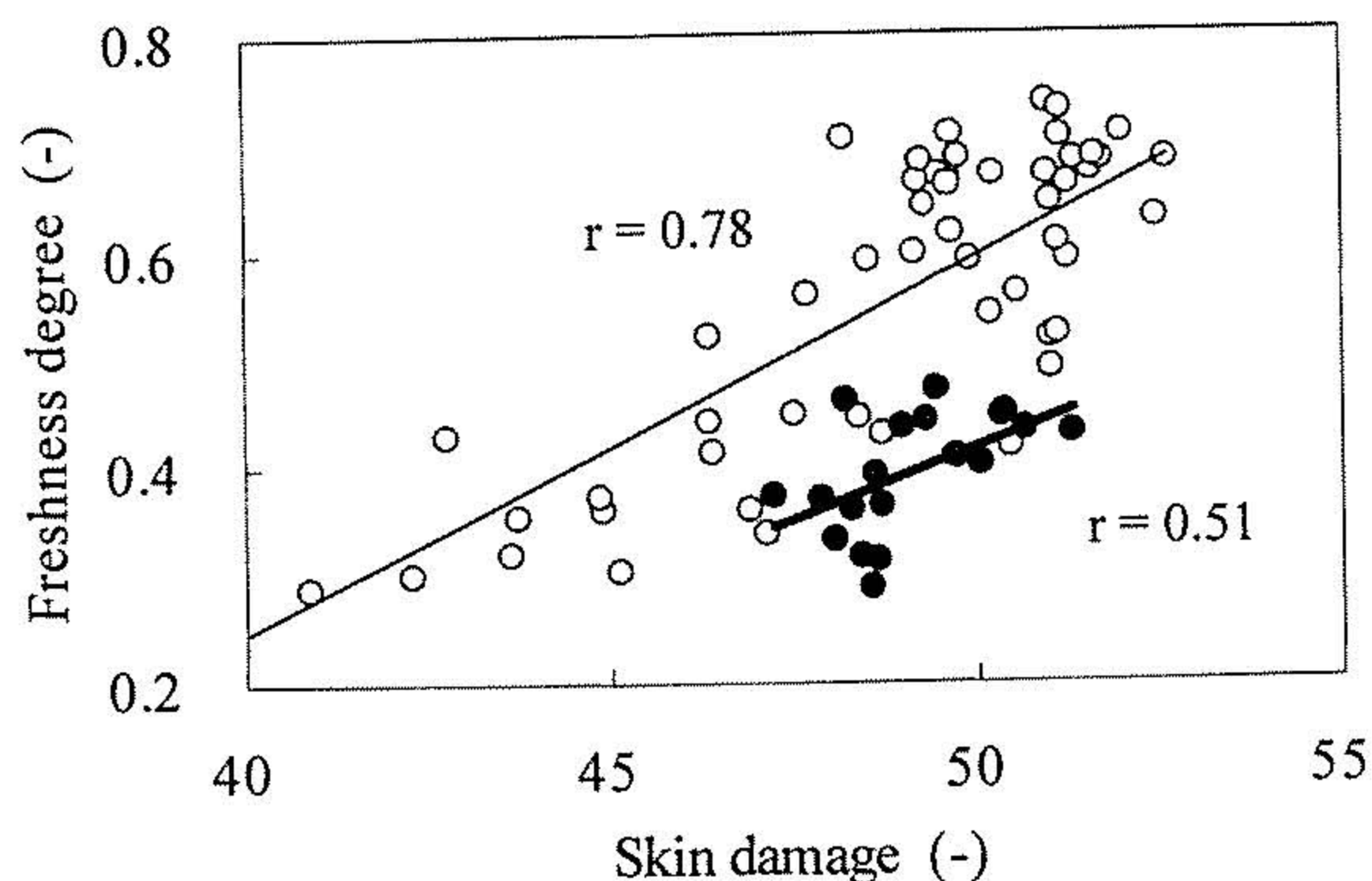


図 11 肌ずれと新鮮度の関係

Fig. 11 Relation of skin damage and freshness degree

異なるのに対して、インペラ式はその回転数によらず一定となる。ロール回転差率が適正に選択されていれば、肌ずれは脱ぶ方式によらず仕上げ水分のみの影響を受ける。

6) ゴムロール式ではロールの回転差率が大きく、間隙が小さいほど貯蔵中玄米の新鮮度が低くなる。インペラ式ではその回転数によらずほぼ一定となる。

7) ゴムロール式とインペラ式は脱ぶ原理が違うため、肌ずれ度と新鮮度の関係は異なるが、肌ずれが著しいほど新鮮度が低下する傾向は同じである。

インペラ式籾すり機はゴムロール式籾すり機に比べて脱ぶ率が高率で安定していること、メンテナンスが容易であること、およびエネルギー利用効率が高い等の理由により、開発途上国にとって有効な装置であると判断される。

References

- Aihara, S., 1986. Deterioration of rice quality and development of new type Dryer. Report of Research Institute for Food Science, Kyoto University, No. 49.
- Hikida, Y., Abe, T., Ofoche, C E., 1993. The effect of heating operation on fat acidity development in rice grain. Journal of JSAM, 55 (5), 51-57.
- Inspection section, Food Agency, 1993. Theory and practice for inspection and quality control of agricultural product. Ryoyu-sha, 429-430.
- Kawakami, K. et al., 2004. Measurement of rice freshness by the freshness determination device. Journal of the Japanese Society of Tasty Technology, No. 5, 24-29.
- Ly, H T., Goto, K., Kawano, M., 2005. Studies on the optimum conditions for rice post-harvest processes in developing countries (Part 1). Journal of JSAM, 67 (6), 120-126.
- Shitanda, D., Nishiyama, Y., Koide, S., 2001. Performance analysis of an impeller husker considering the physical and mechanical properties of paddy rice. Journal of Agric. Eng. Res. 79 (2), 195-203.
- Takekura, K., Kawamura, S., Ito, K., 2004. Influence of difference in hulling systems on quality of brown rice after storage. Journal of JSAM, 66 (3), 51-58.
- Yamashita, R., Omar, S.J., Goto, K., 1989. New postharvesting method on rice grain (part 1). Journal of JSAM, 51 (4), 71-76. (原稿受理：2006年2月21日・質問期限：2007年1月31日)