

開発途上国における米の調製条件の最適化 (第1報)

——乾燥条件が脱ぶ特性に及ぼす影響——

Ly Hoang Tung^{*1}・後藤清和^{*2}・河野元信^{*3}

要 旨

東南アジアの開発途上国等において穀物ロスが多発している。その原因の一つとして、各地域により異なる気候条件や乾燥機の運転条件に対する不適切な脱ぶ条件を想定した。収穫後の籾の乾燥温度を3段階に設定した上で、過乾燥の影響を考察するために仕上げ水分を2段階として乾籾を調製した。それぞれの試料について脱ぶ条件に対する各種特性を求め、さらに、乾燥条件とそれら特性との関係を検討した。脱ぶ玄米の品質と脱ぶ時の電力消費に関して測定した結果、両者ともに低温(通風温度37℃)での乾燥および適正な仕上げ水分(14%w.b.)で良い結果を示した。

[キーワード] 穀物ロス, 乾燥条件, 温度, 過乾燥, 脱ぶ特性

Studies on the Optimum Conditions for Rice Post-harvest Processes
in Developing Countries (Part 1)

——Influence of Drying Conditions on Husking Processes——

Tung Hoang LY^{*1}, Kiyokazu GOTO^{*2}, Motonobu KAWANO^{*3}

Abstract

A large amount of grain loss frequently occurs in developing countries especially in South-east Asia etc. It is believed that one of the factors influencing grain loss is inappropriate husking condition corresponding to the actual cultivating, harvesting and drying conditions.

Therefore, immediately after harvest, rice grain was dried by an ordinary circulating dryer at three levels of temperature (37℃, 42℃, 50℃). With the purpose of further investigating about the influence of over drying condition on the husking process, rice grain was dried until the moisture content reached 14 and 12.5%w.b.. The relationship between husking conditions and various husking properties were measured for each test sample. Next, the relationship between the drying conditions and husking properties were discussed. We found that a low drying temperature of 37℃ and paddy finishing moisture content of 14%w.b. were the optimum conditions for rice quality maintenance and high energy efficiency.

[Keywords] grain loss, drying condition, temperature, over drying, husking property

I 緒 言

東南アジアの開発途上国等において、収穫以後の種々

の調製工程における穀物ロスは高水準となっている。その原因の一つは経済的な理由による不適切な農産加工機械の使用である。さらに本研究では、ポストハーベスト

*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

*3 会員, 株式会社サタケ (〒739-8602 東広島市西条西本町 2-30 TEL 0824-20-8519)

Satake Corporation, 2-30, Nishihonmachi, Saijo, Higashi-hiroshima-shi, 739-8602, Japan

段階で加工の材料である粳や玄米の加工履歴に関係なく次の段階の運転条件を一律に決めていることを原因の一つに想定した。日本における米のポストハーベスト段階での調製技術（乾燥，粳すり，精白，選別，貯蔵）は進んでいるが，その結果や経験は開発途上国にそのまま適用することはできない。なぜなら，従来，乾燥，粳すりおよび精白工程における機械の選択や運転条件と碎米発生等の品質との関係は各工程毎に研究が進められ，全工程の総合的な検討がなされていないからである。そのため，予想外の悪い結果が生じ，大きな穀物ロスに繋がることがあると思われる。例えば，徐ら（Xu et al., 2002）によると，日射の強い地域で天日乾燥が行われると，粳粒の高温化や高速乾燥のために胴割れが多発し，以後の調製工程で碎米となり易い。したがって，それらの場合の粳すり機や精米機の運転条件は総合的に考慮する必要がある。

本研究の目的は乾燥条件が異なる粳に対する脱ぶ特性の検討である。材料粳の乾燥条件とロール間隙等の脱ぶ条件との関係の分析を行うため，種々の乾燥条件と脱ぶ条件を設定して実験を行った。この研究で得られる結果は，特に，開発途上国での穀物ロスを減少させ，食糧の確保のため有効に活用できるものと思われる。また，さらなる高品質米の生産を指向する日本においても，適正な調製条件を検討するための資料とすることができる。

なお，脱ぶ実験において，各種のロール回転差率を設定するために必要な特殊形状のプーリーを当学部附属岐阜フィールド科学教育研究センター技術専門職員の細江重男氏に製作していただいた。ここに記して謝意を表する。

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。粳水分は 135℃-24 h-10 g 粒法で測定し，105℃-5 h-5 g 粉碎法に換算して得た。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℃）に設定し，脱ぶ試験の材料粳に調製した。乾燥が進行して最終的に一定となる穀層直後の排風温度が乾燥中粳の最高穀温に近いと思われる。14.0% w.b. と 12.5% w.b. のいずれもが

ほぼ同じ温度を示した。通風温度が 37℃ の時の最高穀温は 31℃，同様に 42℃ の時は 33℃，50℃ の時は 38℃ であった。一般に穀温は通風温度より約 10℃ 低いと言われており，今回の結果と符合している。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. 実験装置

種々の乾燥条件で仕上げられた粳に対する脱ぶ特性を検討するために，テスト用のゴムロール式粳すり機（（株）サタケ，THU-35A）を用いた。ロール間隙およびロール回転差率をそれぞれ 3 段階に調整して実験に供した。脱ぶ後の玄米の品質測定のために画像および光学的手法を用いた穀粒判別機（（株）サタケ，RGQI 10A）を用いて従来よりも大量の粒を供試し，測定値の信頼性を高めた。

脱ぶ時の電力効率を検討するために，運転中の電力の推移を電力計（日置電気(株)，3184）およびデジタル記録計（横河電機(株)，AR1100）を用いて記録を行った。

3. 測定項目

各運転条件において，粳 300 g を供試して脱ぶ特性を求めた。穀粒判別機による品質判定のために，脱ぶ後の玄米を穀粒均分機（（株）藤原製作所製）に通して約 1,000 粒を 3 群作り測定の上平均値を求めた。品質および所要エネルギーに関する測定項目は次のとおりである。

(1) 脱ぶ率

300 g の粳をすべて脱ぶした場合の玄米質量をあらかじめ求め，その値に対する実際の脱ぶ後の玄米質量の比率を脱ぶ率とした。したがって，すべての粳が脱ぶされた場合，脱ぶ率は 100% となる。

(2) 胴割れ率および碎米率

碎米は直接に損失となり，胴割れは精白時の碎米化あるいは水中亀裂の原因となる確率が高いため，できる限りそれらの発生を抑制する必要がある。したがって，粳すり後の玄米に関してこれらは重要な品質の指標値であり，材料玄米の乾燥条件と脱ぶ条件およびそれらの相互作用により変化するものと考えられる。穀粒判別機による胴割れ率の測定では，観察の結果，山下（Yamashita,

表 1 乾燥条件
Table 1 Drying conditions

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

1976) により農業機械学会に提案された「米の胴割れ測定方法の基準」による軽胴割れはほとんど計数されず大半は重胴割れであった。したがって、ここでの胴割れ率はいわゆる重胴割れ率を意味する。

(3) 玄米の三軸寸法

ロール式粳すり機では、大半の粳は厚さに作用するようにロールに供給されるため、ロール間隙が小さいほど粳は厚さ方向に大きな圧縮力を受けるものと思われる。圧縮力が圧碎強度を超えると碎米となるが、そうでない場合でも圧縮力のために厚さ方向に変形が起こり、精白時に碎米となり易くなる可能性がある。そこで、脱ぶ後の玄米の三軸寸法を測定する。測定には前述の穀粒判別機を用いた。粒の測定円盤への姿勢がやや不安定なため、三軸の投影長さは誤差を含むと思われる。しかし、測定粒数が多いこと、それぞれの寸法の分布がほぼ完全な正規分布を示すこと、およびすべての材料に対して同じ機器を用いることを考慮すれば、本機器は条件別に測定値を比較するために適当である。

(4) 脱ぶ能率および脱ぶ効率

各実験区において 300 g の粳を供試し脱ぶを行った際の消費電力 (kW) の時間的推移を記録した。脱ぶ負荷のないいわゆる空運転の状態での電力を基準としてその値からの増分を脱ぶ電力とした。脱ぶ電力と運転時間の積を累積する形で脱ぶ電力量を求めた。単位脱ぶ電力量当たりの実際に脱ぶされた玄米の質量を脱ぶ効率とし (Yamashita. et al., 1989), 単位として [kg/ (kW・min)] を用いた。また、単位時間に脱ぶされた玄米の質量を脱ぶ能率 [kg/min] とした。実際の運転においては、一定以上の脱ぶ能率を確保した上で脱ぶ効率が高いことが求められる。

4. 実験区

前記のように乾燥履歴が異なる乾粳を材料としてゴムロール式粳すり機による脱ぶ特性を検討するために、ロール間隙とロール回転差率を変化させて実験区を設定した。ロール間隙は 0.7, 1.0, 1.4 mm の 3 段階とし、ロール回転差率は低速側ロールのプーリーを交換することにより、11.5% (呼び: 10%) 20.1% (同 20%) および 45.5% (同 45%) の 3 段階に設定した。実用機のロール回転差率は約 23% が適当とされているが、供試機はテスト機であり、脱ぶ率を確保するために約 45% に設計されている。なお、実験条件としたロール回転差率にお

ける高速および低速ロールの回転数や周速度を表 2 に示す。実験区の記述として材料は (通風温度-水分) で表し、脱ぶ条件を (ロール間隙, 回転差率) で表す。

III 実験結果および考察

各測定項目について、乾燥条件 (通風温度および仕上げ水分) の影響を検討するためには、条件別に代表値を得る必要がある。同一の乾燥条件でも脱ぶ条件により各特性値が変化するので、それぞれの代表値を求める手順を決めなければならない。脱ぶ条件による特性値の変化の検討については、現在、日本で一般的に適用されている条件に最も近い (37℃-14%) つまり 37℃ の通風温度で 14% w.b. の水分に仕上げられた材料に対する特性値を用いる。

1. 脱ぶ率

脱ぶ条件による脱ぶ率の変化を材料 (37℃-14%) について図 1 に示す。ロール回転差率が 10% 程度であると、材料粳に対する十分なセン断力が発生せず、ロール間隙を小さくしても実用的な脱ぶ率に達しない。ロール回転差率が 20% 程度になると飛躍的に脱ぶ率が上昇し、それ以上としても脱ぶ率の上昇はわずかとなる。日本での粳すり機のロール回転差率が約 20% 程度に設定されているのはこの特性によるものと思われる。ロール回転差率が 20% の場合、ロール間隙が大きくなるにつれて脱ぶ率はやや低下する傾向があるが、ロール回転差率が

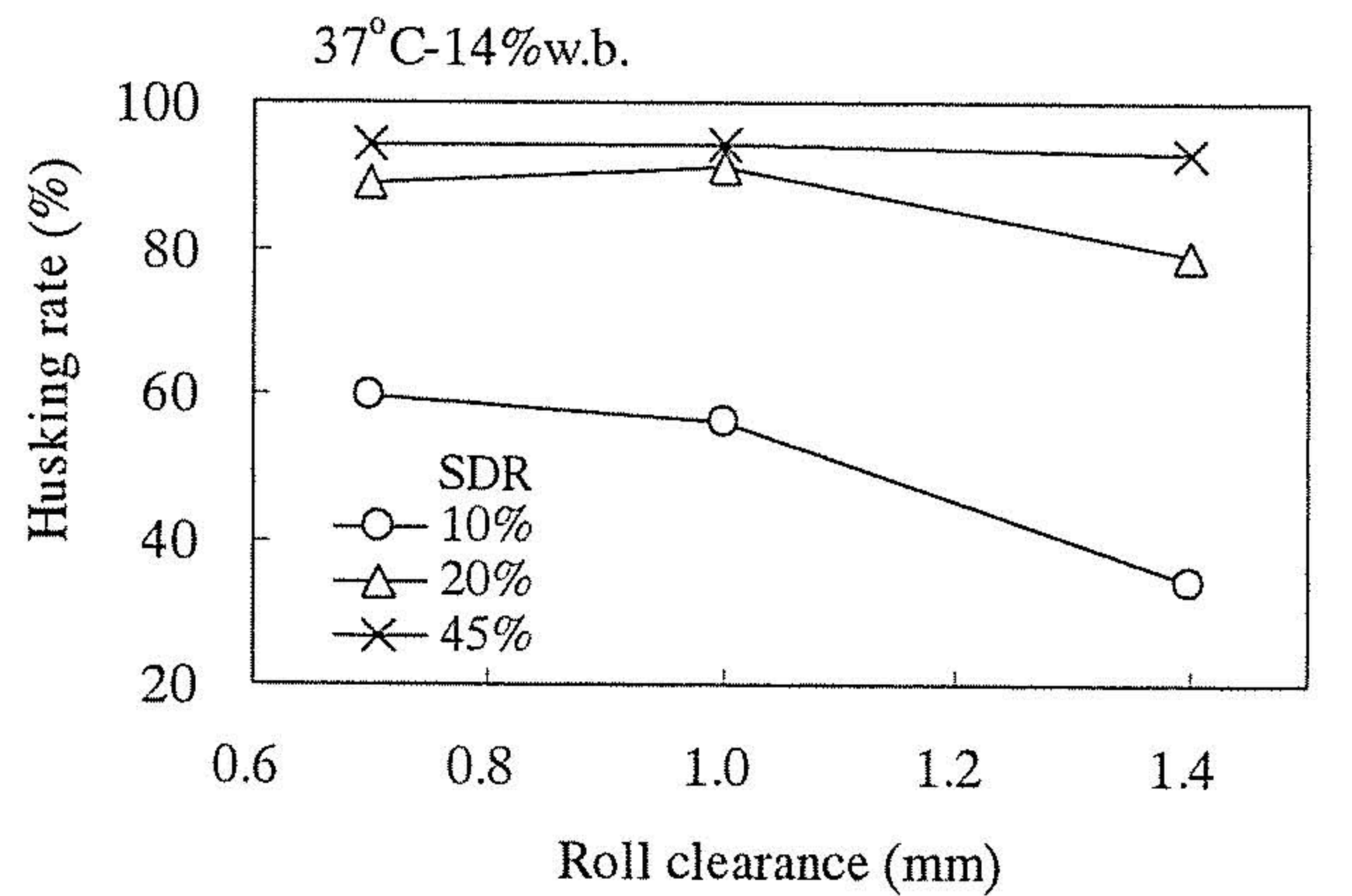


図 1 脱ぶ条件と脱ぶ率の関係
(注: SDR はロール回転差率)
Fig. 1 Relation of husking condition and husking rate
(note: SDR - Rolls speed difference rate)

表 2 ロール回転差率
Table 2 Rolls speed difference rate (SDR)

SDR (%)	Revolution of rolls		Peripheral velocity of rolls	
	High speed (rpm)	Low speed (rpm)	High speed (m/s)	Low speed (m/s)
11.5	1,892	1,675	9.90	8.77
20.1	1,900	1,519	9.94	7.95
45.5	1,919	1,045	10.04	5.47

45%になると、ロール間隙によらず脱ぶ率はほぼ一定の値を保つ。したがって、最適な脱ぶ条件はロール間隙以外の脱ぶエネルギーや肌ずれ発生の観点から検討することが必要となる。

ここで、材料粉の乾燥条件と脱ぶ特性の変化の関係を検討する。前述のように、ロール回転差率が10%の場合には十分な脱ぶ率が確保できず実用的でない。したがって、設定した9種類の脱ぶ条件のうち、ロール回転差率が10%の条件を除外した6種類の脱ぶ条件における特性値の平均値をその乾燥条件の代表値として比較を行った。以後、本報において乾燥条件別の各種脱ぶ特性を検討する場合は、この手順にしたがった。粉の乾燥条件と脱ぶ率の関係を図2に示す。42℃程度以下の通風温度の場合、90%以上の脱ぶ率が確保され、材料粉水分による差は見られない。測定結果によると、通風温度が50℃になると明らかに脱ぶ率は約5%低下するが、この原因は不明である。日本では、通常40℃以下の通風温度で乾燥されているので、適当な脱ぶ率が確保されていると思われる。しかし、発展途上国等において温度管理の意識が低く、穀温が高くなった場合、脱ぶ能率が低下している可能性がある。

2. 胴割れ率と碎米率

脱ぶ条件による胴割れ率の変化を材料(42℃-14%)について図3に示す。ロール回転差率が10%と20%の場合にはほぼ同じ胴割れ率を示し、しかもロール間隙の影響が見られない。ところが、ロール回転差率が45%となると胴割れの発生が大きくなり、また、ロール間隙が小さいほど著しくなる。日本におけるロール式粉すりのロール回転差率は約22%である。この程度の差率であればロール間隙により胴割れ率が変化することはない。しかし、ロール回転差率がある値を超えると胴割れ率が増加しロール間隙の影響も現れるので注意が必要である。

粉の乾燥条件と胴割れ率の関係を図4に示す。通風温度が42℃以下でも温度が高い方が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

より胴割れ率が高いが、その差は通風温度が高いほど著しくなる。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、注意が肝要である。次に、粉の乾燥条件と碎米率の関係を図5に示す。碎米率の値は小さいものの、通風温度が高いほど碎米率が高くなる傾向は胴割れ率と同じである。しかし、仕上げ水分が低い方が碎米率が低くなる点が胴割れ率の特徴と異なる。これは低水分ほど粒の剛度が増し、圧砕が少なくなるからと思われる。しかしながら、必要以上に水分の低い粉、つまり過乾燥粉は脱ぶ時に碎米となる粒は少ないが、前述のように胴割れが増加するため、精白時に碎米率が増加する可能性が高い。

3. 粒厚さ

乾燥条件が同じ材料粉において、仕上がり玄米の三軸寸法(長さ、幅、厚さ)のうち、厚さの変化に対する脱ぶ条件の影響に特徴が見られたのでここに示す。供試材料としての粉中玄米の初期厚さについては、脱ぶによる厚さ変化が起こりにくいと思われるロール間隙の広い運転およびインペラ式粉すり機での低回転運転による脱ぶ

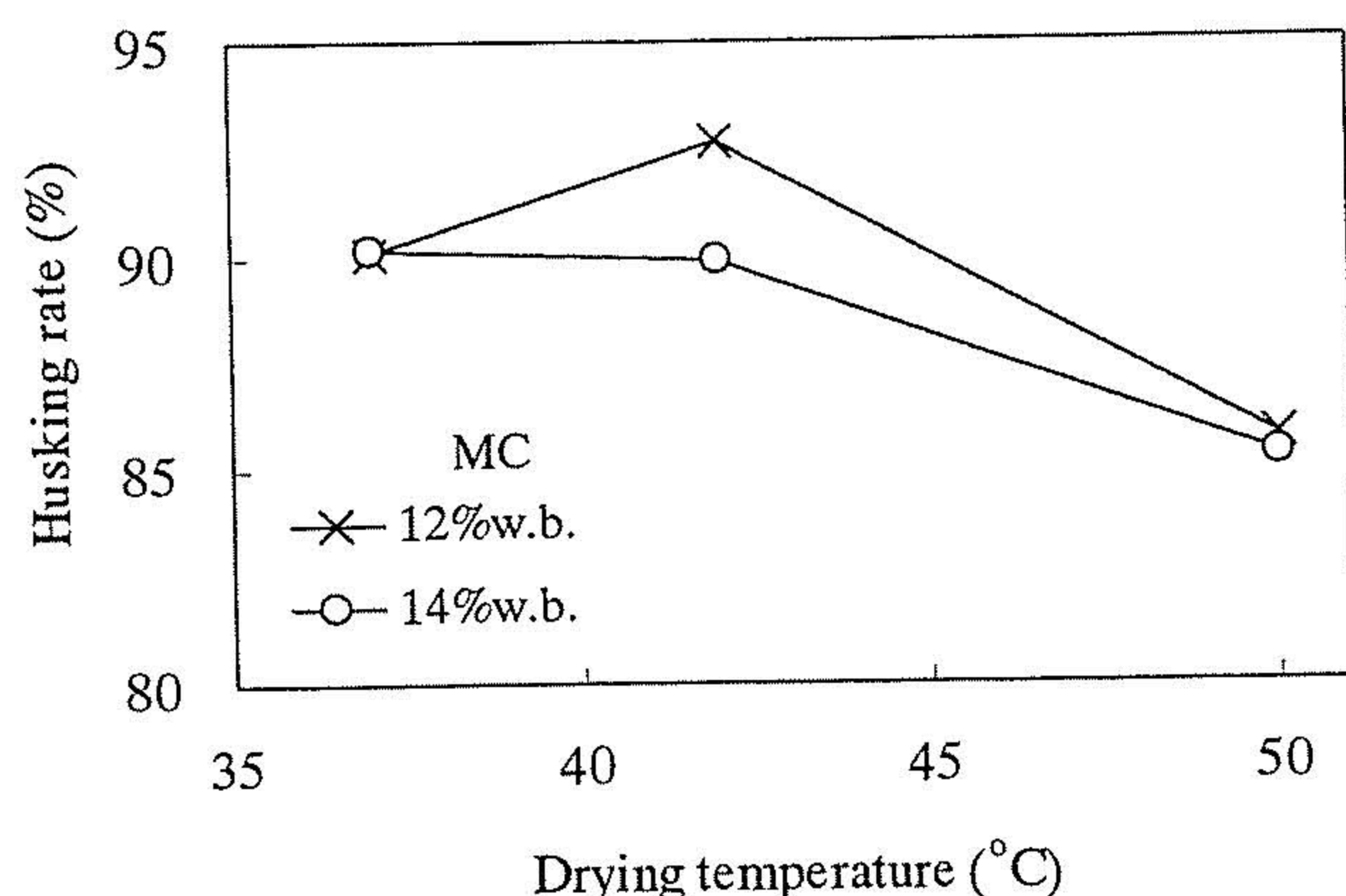


図2 乾燥条件と脱ぶ率の関係

Fig. 2 Relation of drying condition and husking rate

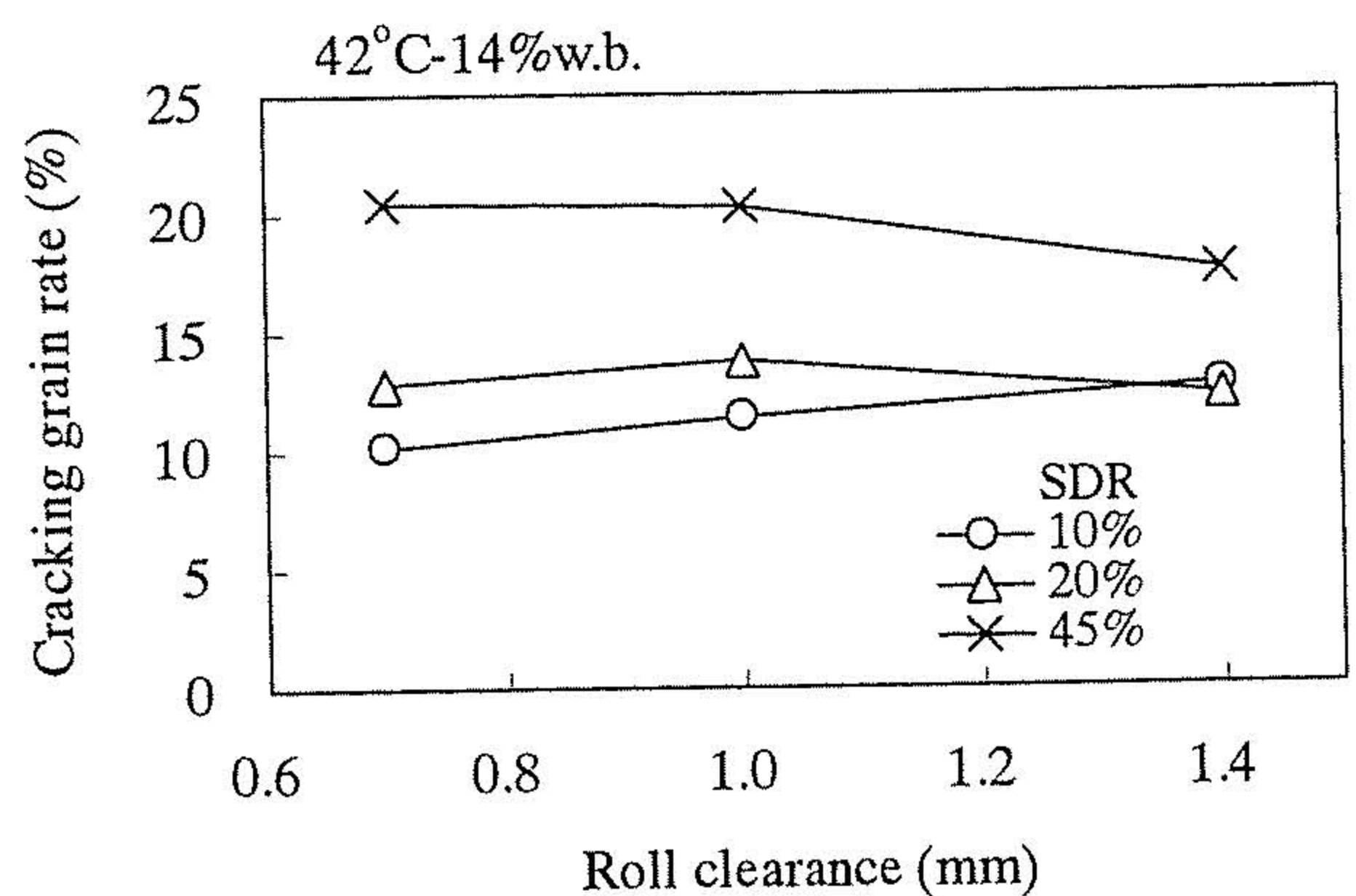


図3 脱ぶ条件と胴割れ率の関係

Fig. 3 Relation of husking condition and cracking grain rate

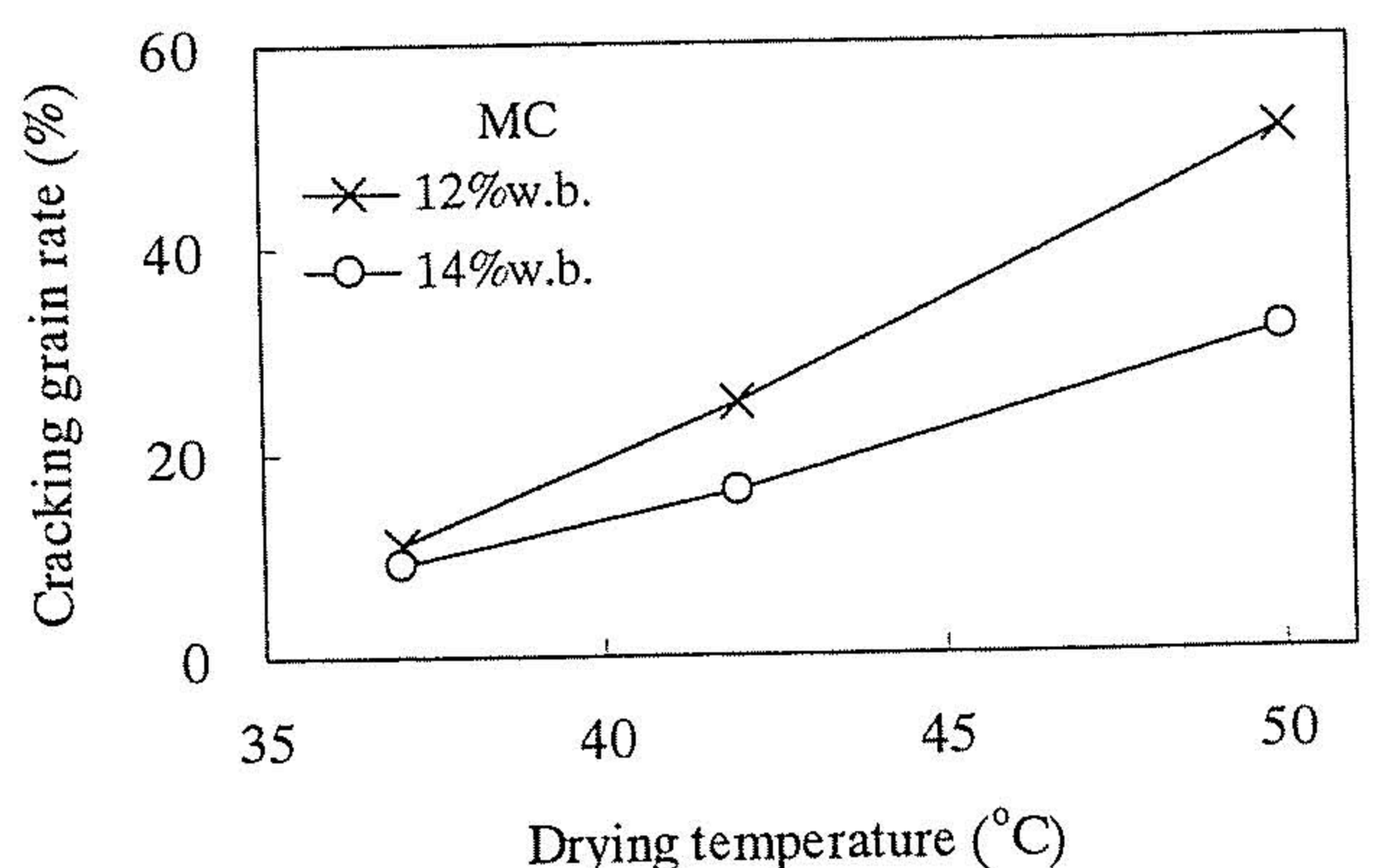


図4 乾燥条件と胴割れ率の関係

Fig. 4 Relation of drying condition and cracking grain rate

玄米の測定値で近似できるものとした。その結果、12% w.b. の材料の初期厚さは1.94 mm, 14% w.b. のものは1.97 mmであった。脱ふ条件と玄米厚さの関係を材料(37°C-14%)について図6に示す。ロール回転差率が10%あるいは20%の時はロール間隙が変化してもほぼ一定の粒厚さとなる。これはロール間隙が小さくなり脱ふ時に圧縮力が大きくなっても厚さの塑性変形は起こらないことを意味している。しかし、ロール回転差率が45%の場合はロール間隙が小さいほど粒厚さが小さくなる傾向が明らかである。この結果より、粒厚さが小さくなる原因は圧縮力による塑性変形ではなく、ロール回転差率が大きくなりせん断力が大きくなることによるヌカ層の剥離であると推測される。なぜなら、ロール回転差率が大きくなるとロール間隙が小さくなるにつれて肌ずれが著しくなるからである(詳細は続報で述べる)。肌ずれの増加は玄米貯蔵中の品質劣化に繋がる可能性があるため注意が必要である。

籾の乾燥条件と脱ふ後の玄米の粒厚さの関係を図7に示す。水分による粒厚さの差は乾燥による収縮の影響で

あるが、同じ水分でも通風温度が高いほど厚さが小さくなる傾向が見られる。つまり、通風温度が高い状態で過乾燥となるほど肌ずれが大きくなるものと推測される(続報で検討する)。

4. 脱ふ能率と脱ふ効率

実際に籾すり機を運転するためには、脱ふ能率と脱ふ効率を検討する必要がある。脱ふ能率[例えば kg/h]が実用的な値の範囲において脱ふ効率[例えば kg/(kW・h)]が最大となる条件がエネルギー面からは優れているが、仕上がり玄米における胴割れ等の品質の考慮も必要である。

脱ふ能率と脱ふ条件の関係を材料(37°C-14%)について図8に示す。使用したゴムロール幅は35.0 mmである。脱ふ能率はロール回転差率が10%では著しく低く、20%と45%はほぼ同じ値を示す。ロール回転差率が20%と45%の場合はロール間隙によらず脱ふ能率はほぼ一定値を示し、10%の時はロール間隙が小さいほど能率は低下する傾向を示す。つまり、籾すり作業の能率向上を図るためにはロール回転差率を20%以上に設定す

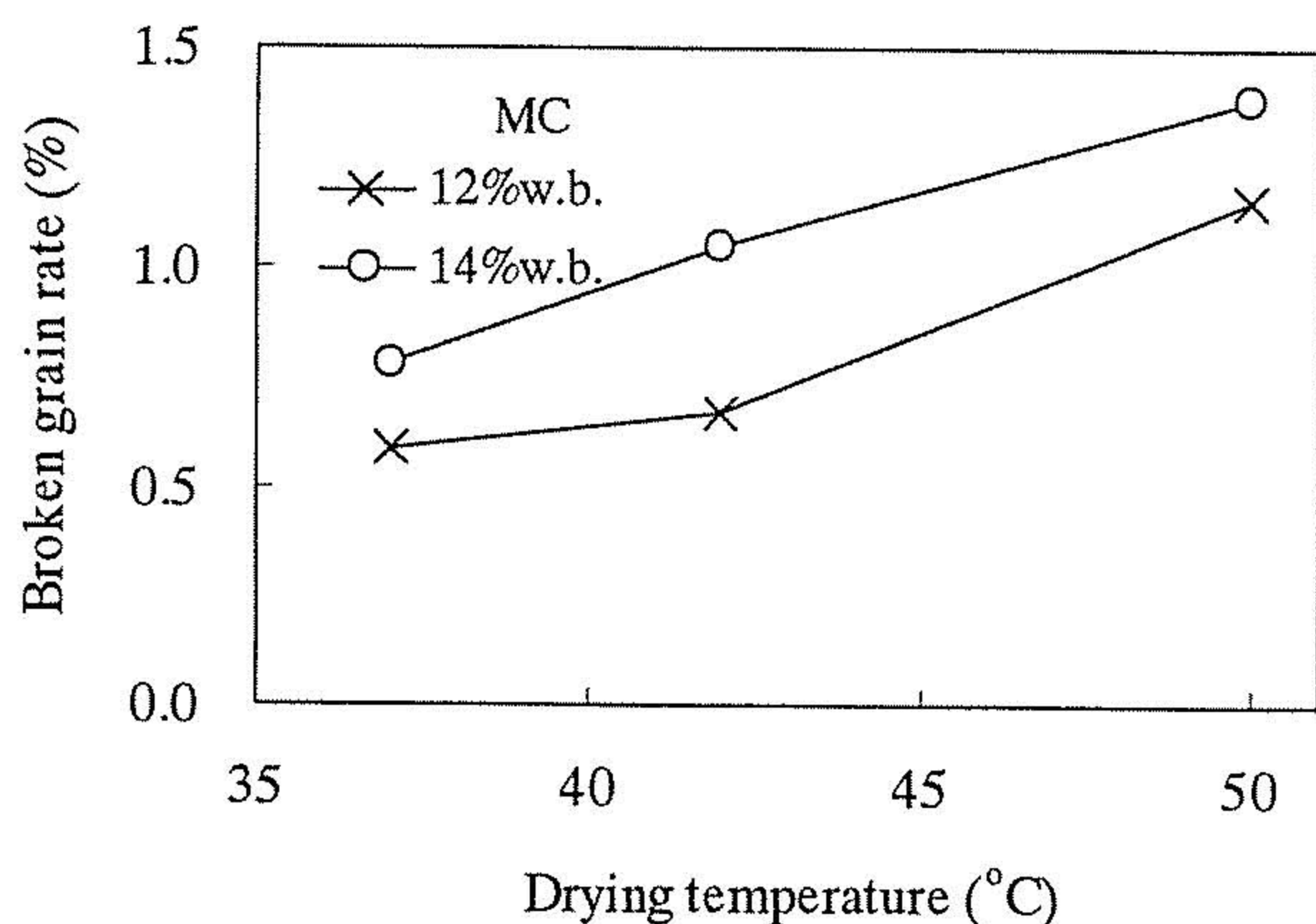


図5 乾燥条件と碎米率の関係

Fig. 5 Relation of drying condition and broken grain rate

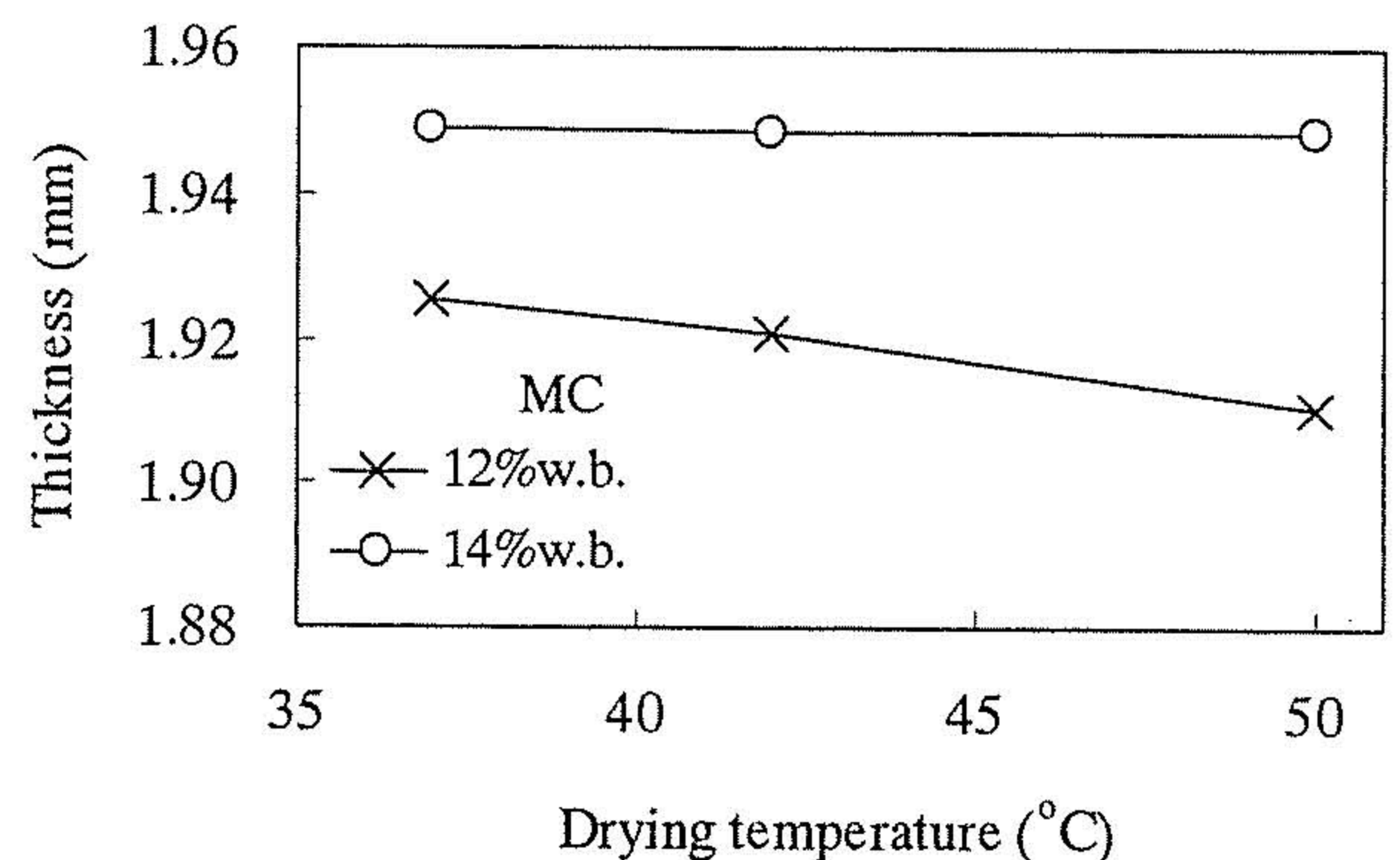


図7 乾燥条件と玄米厚さの関係

Fig. 7 Relation of drying condition and brown rice thickness

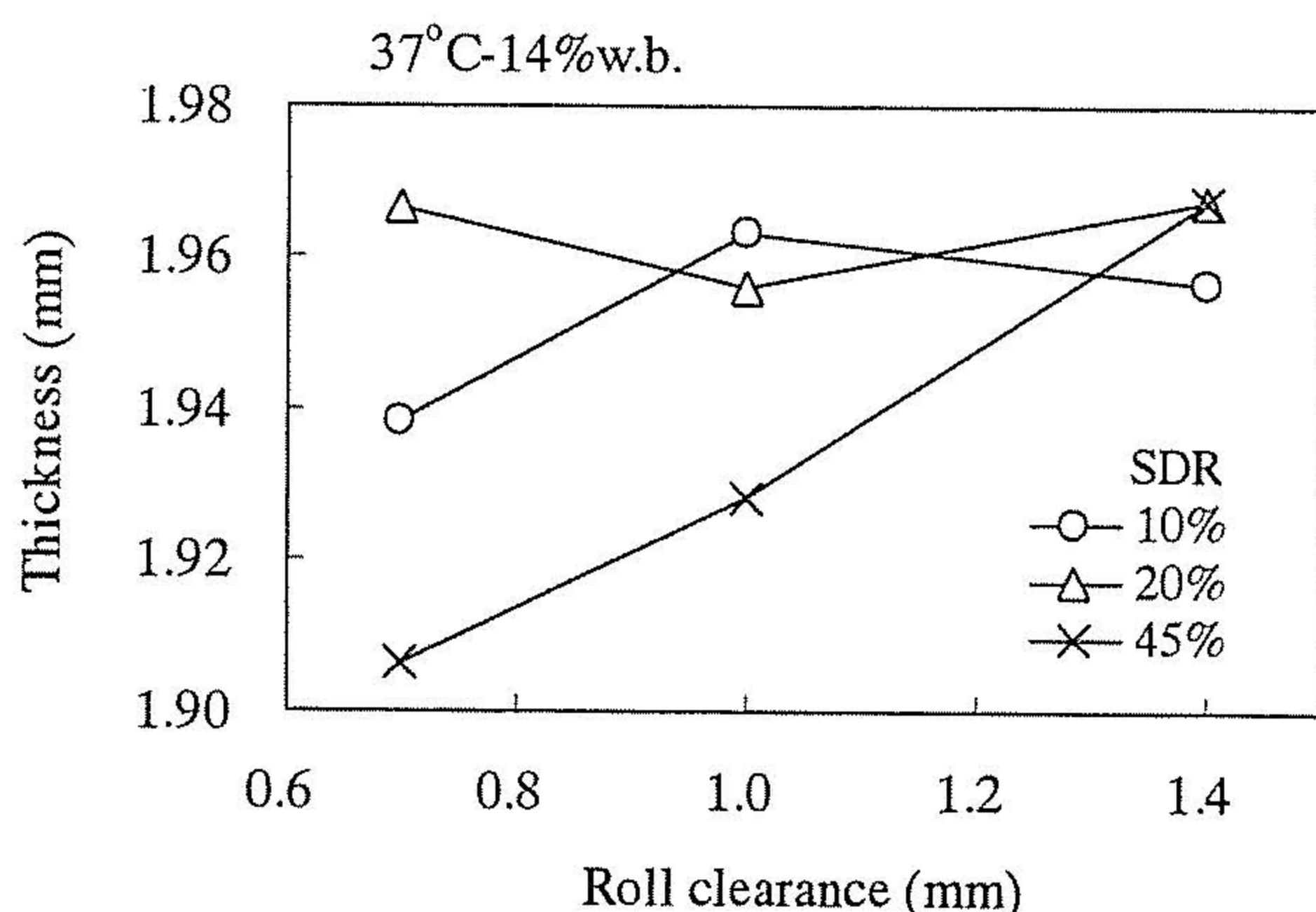


図6 脱ふ条件と玄米厚さの関係

Fig. 6 Relation of husking condition and brown rice thickness

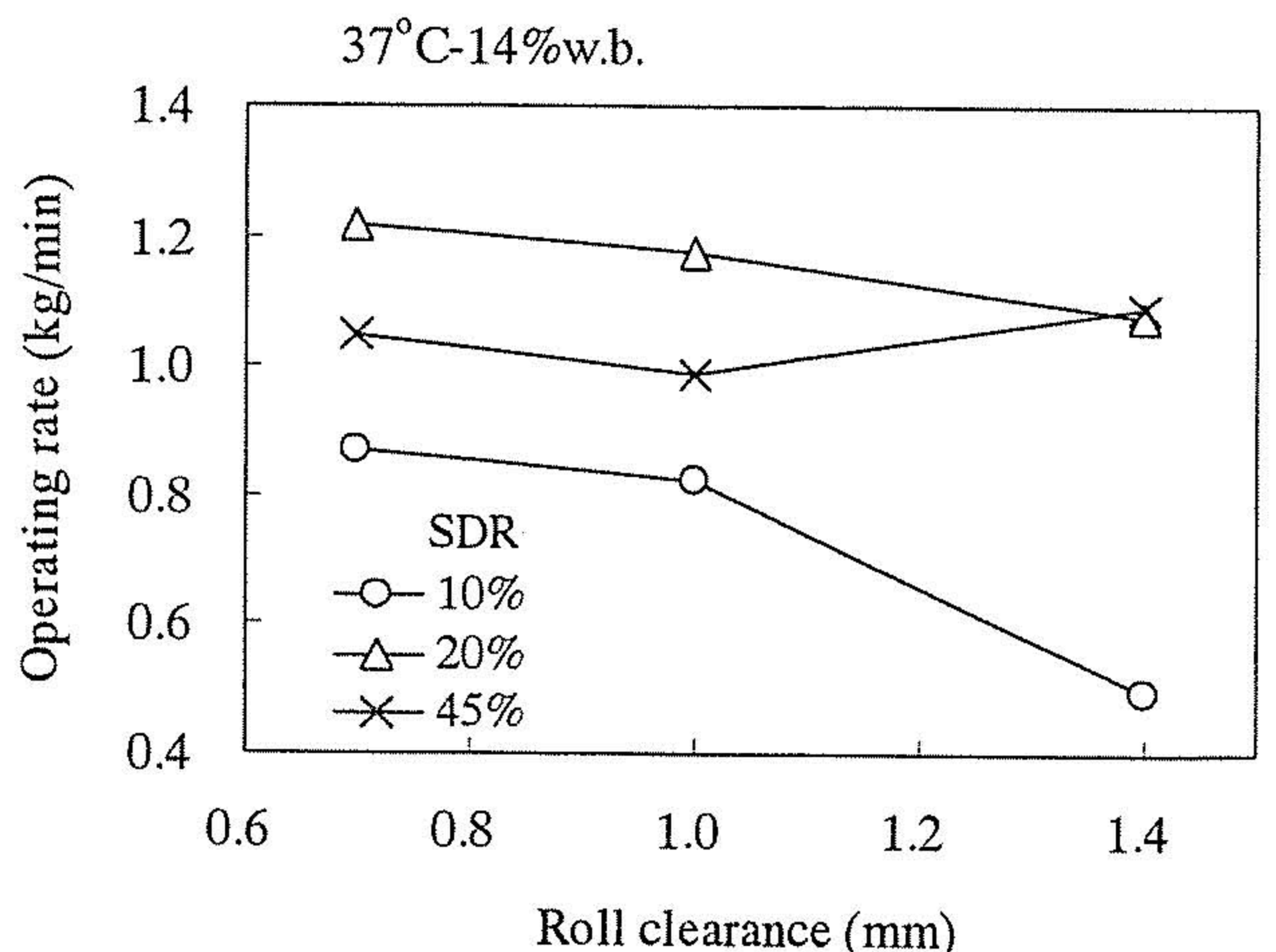


図8 脱ふ条件と脱ふ能率の関係

Fig. 8 Relation of husking condition and operating rate

る必要がある。乾燥条件と脱ぶ能率の関係を図9に示す。通風温度が37℃と42℃で脱ぶ能率はほぼ等しく、50℃の場合に約10%低下する。この原因としては、前述のように、通風温度が50℃の場合、他の温度に比べて約5%脱ぶ率が低いこと、および、通風温度により乾粃の表面状態が異なることによるかさ密度および流動性の差が考えられる。仕上げ水分が12%w.b.の粃についてブラウエル穀粒計によるかさ密度測定の結果、通風温度が37℃、42℃、50℃の時、それぞれ619、601、589 g/Lであった。高温で乾燥された粃ほどロールへの質量供給速度が小さくなるため、脱ぶ能率が低下すると思われる。

単位脱ぶ電力量当たりの実際に脱ぶされた玄米の質量を脱ぶ効率として脱ぶ条件との関係を図10に示す。ロール間隙が大きくなるにつれて所要電力が減少するため脱ぶ効率は向上する。ロール回転差率が20%と45%の場合の脱ぶ能率はほぼ等しいが、脱ぶ効率はロール回

転差率が20%の時のほうが高くなる。これはロール回転差率が45%になると必要以上のセン断力がかかり、所要エネルギーが増加することが原因と考えられる。乾燥条件と脱ぶ効率の関係は図11に示すように材料粃の水分により異なる。水分が14%の場合は通風温度が37℃の条件で脱ぶ効率が高く、42℃以上になると約20%低下する。また、水分が12%の過乾燥粃の場合は、通風温度が37℃と42℃でほぼ等しく、50℃になって低下する。この結果からわかるように、できる限り通風温度は低温にして、通常の水分に仕上げて過乾燥としないことにより高い脱ぶ効率を得ることができる。

ここまで、もみの乾燥条件が各種の脱ぶ特性に与える影響の検討を行った。今後は、本実験により得られた玄米を用いて貯蔵試験を行い、品質の変化を測定することにより乾燥条件に対する適当な脱ぶ条件の選択を考察する。さらには、種々の条件で仕上げられた玄米に対する精白条件が白米の特性に及ぼす影響を総合的に考察する予定である。

IV 摘 要

種々の乾燥条件で作成した乾粃に対して脱ぶ特性を検討した。得られた知見を次に述べる。

- 1) 42℃程度以下の通風温度の場合に比べて、50℃の場合は脱ぶ率が減少し、作業能率が低下する傾向がある。発展途上国における天日乾燥や通風乾燥では温度管理が不十分であることが多くなるため注意が必要である。
- 2) 42℃以下の低温乾燥の範囲内でも、温度が高い方が胴割れ率が高くなる傾向が見られ、特に、過乾燥となるとその傾向は著しい。しかし、過乾燥の方が通常水分よりも剛度が増すため、砕米率が低くなる結果となった。
- 3) 同じ水分であれば、通風温度が高いほど玄米の厚さが小さくなる傾向が見られた。これは、通風温度が高い

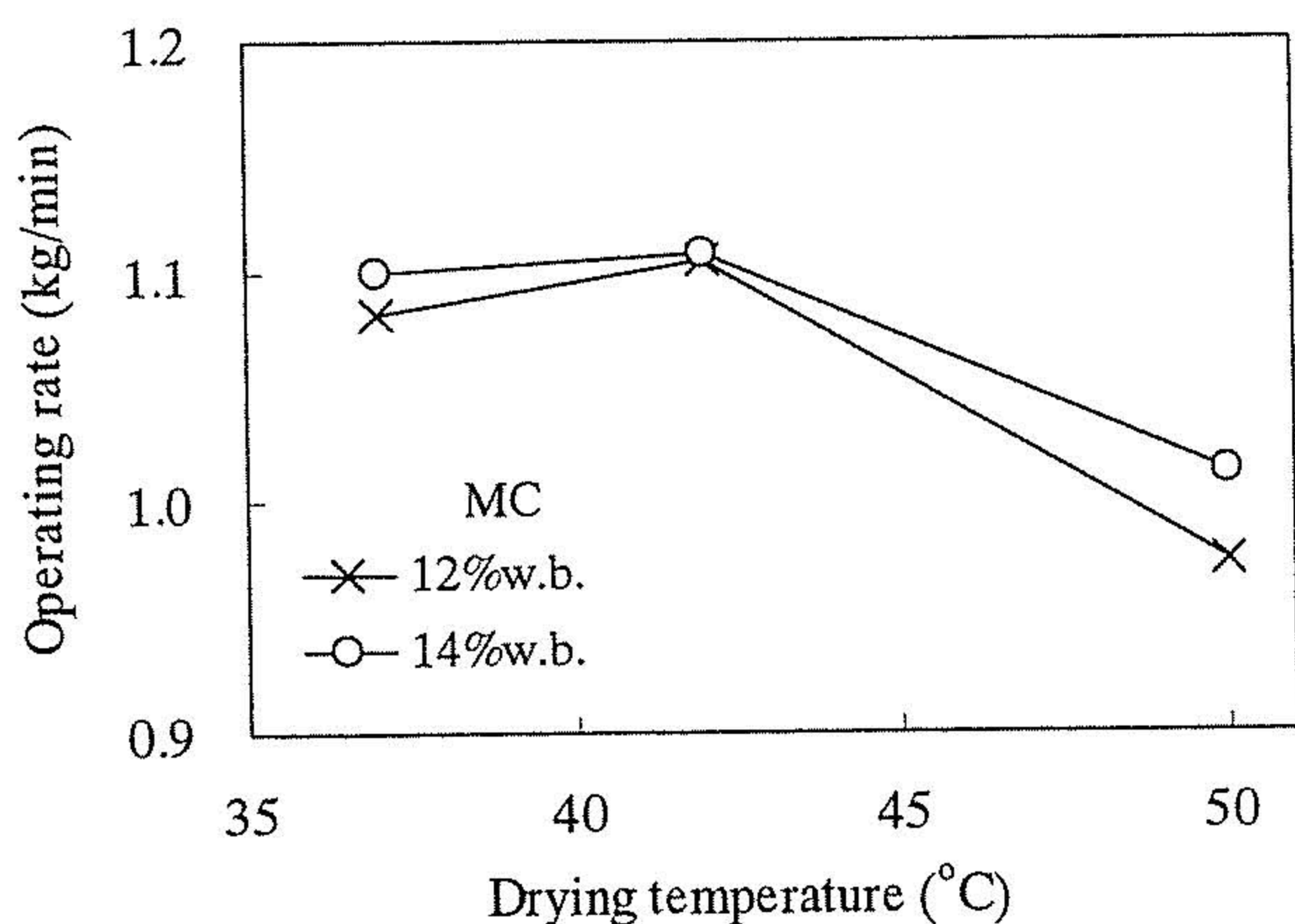


図9 乾燥条件と脱ぶ能率の関係

Fig. 9 Relation of drying condition and operating rate

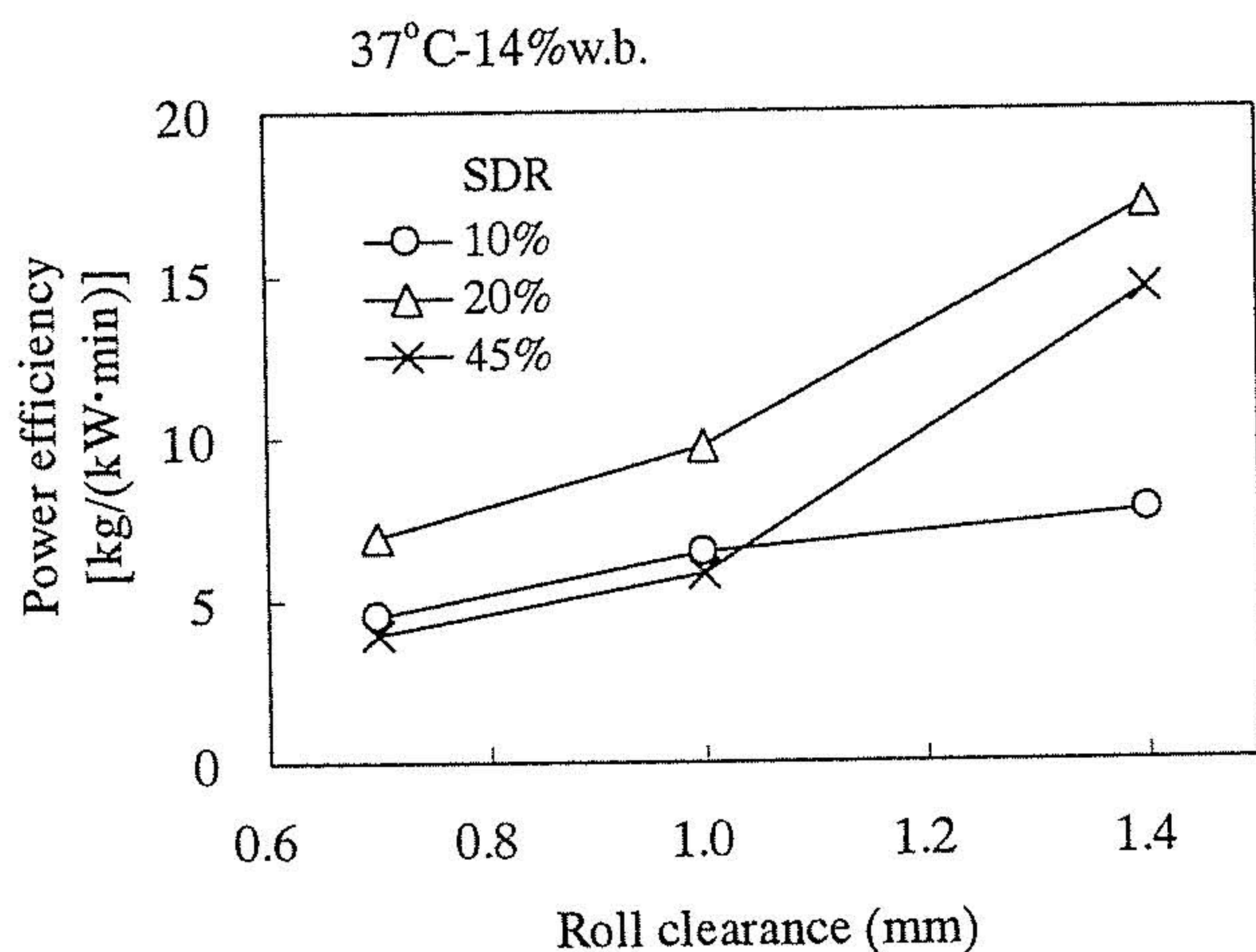


図10 脱ぶ条件と脱ぶ効率の関係

Fig. 10 Relation of husking condition and power efficiency

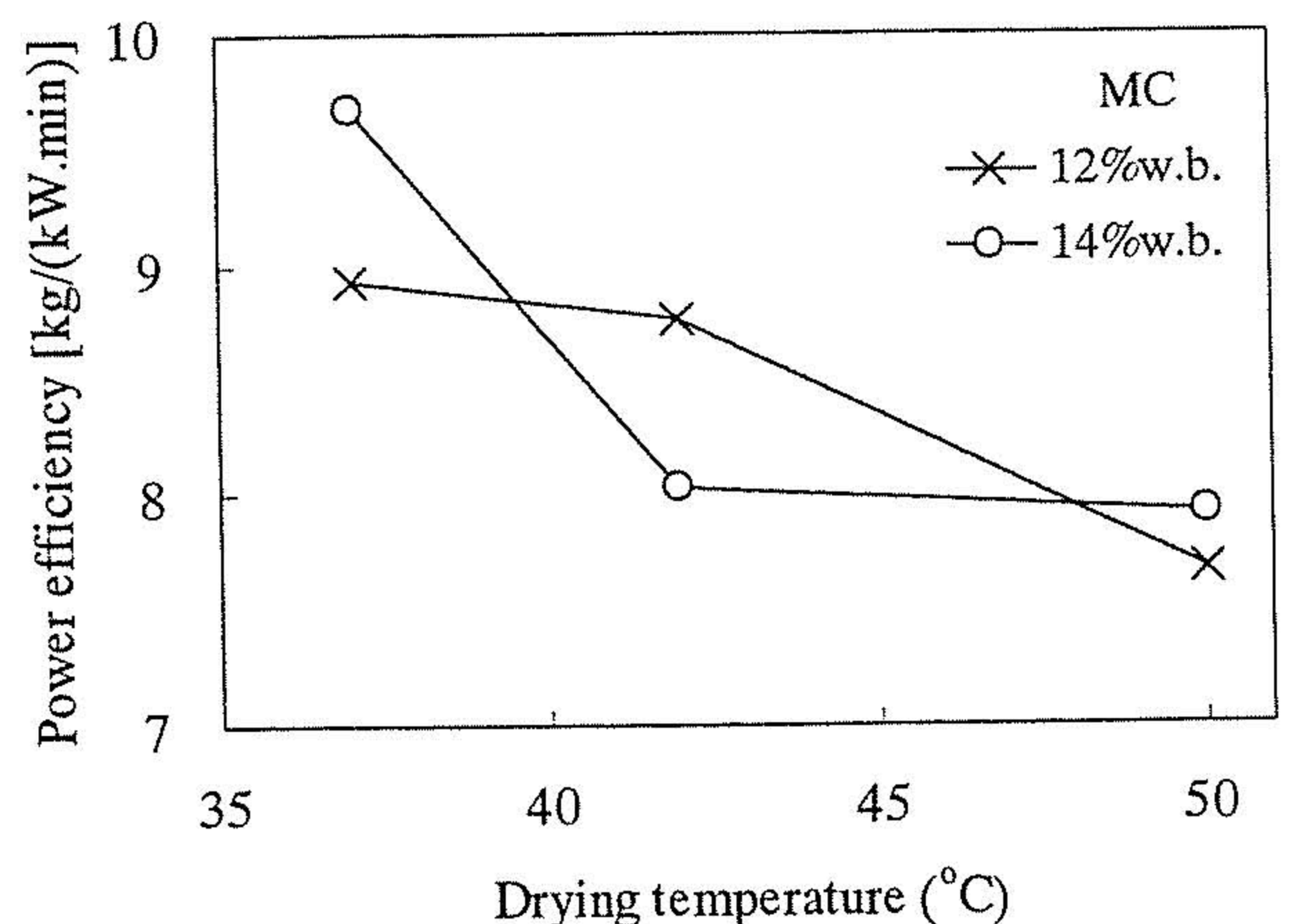


図11 乾燥条件と脱ぶ効率の関係

Fig. 11 Relation of drying condition and power efficiency

状態で過乾燥となるほど、脱ぶ時におけるヌカの剥離量が多くなることが原因と推測される。

4) 粃すり作業の能率向上を図るためにはロール回転差率を20%以上に設定する必要がある。50℃という高温乾燥が行われると、粃すり作業の能率が低下する。

5) 脱ぶ効率に対する通風温度の影響は、材料粃の水分によりやや異なる。通風温度を低温として、通常の水分に仕上げて過乾燥としないことにより高い脱ぶ効率を得られる。

References

- Xu, R., Goto, K. et al., 2002. Study on the proper condition of paddy sun drying in China. *Journal of Japanese Society of Agricultural Technology Management*, 9(1), 17-22.
- Xu, R., Goto, K. et al., 2002. Study on the occurrence of broken grain in the husking and milling processes. *Journal of Japanese Society of Agricultural Technology Management*, 9(1), 45-52.
- Yamashita, R., Omar, S.J., Goto, K., 1989. New postharvesting method on rice grain (Part 1). *Journal of JSAM*, 51(4), 71-76.
- Yamashita, R., 1976. Proposal on standard of rice crack rate measurement. *Journal of JSAM*, 38(2), 253-254.
- (原稿受理: 2005年1月19日・質問期限: 2006年1月31日)