長期貯蔵米精米時の碎米発生低減について

橋爪克己・奥田将生・沼田美子代・櫻尾尚平・小関卓也・畑富士夫¹・蓮尾徹夫¹・庄嶋 修¹

((独) 酒類総合研究所, ¹日本酒造組合中央会)

平成 16 年 11 月 8 日受理

Decrease in the broken rice ratio at the milling of long-term stored rice grains

Katsumi HASHIZUME, Masaki OKUDA, Mineyo NUMATA, Shohei SAKURAO, Takuya KOSEKI, Fujio HATA¹,
Tetsuo HASUO¹ and Osamu SHYOJIMA¹

(National Research Institute of Brewing, 3-7-1, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-0046 ; ¹Japan Sake
Brewing Association, 1-1-21, Nishishinbashi, Minatoku, Tokyo 105-0003)

The broken rice ratio at milling of long-term stored rice grains was closely related with the moisture content of the brown rice grains. Rice grain samples of low moisture content (11-13%) showed a low broken rice ratio in the milling process, while the broken rice ratio of the samples of high moisture content (over 15%) was very high. Drying treatment of the long-term stored rice grains was effective in preventing the breaking of rice grains in milling, and the availability of the treatment was confirmed using a 60 kg scale mill. Hardness of the long-term stored rice grains varied along with the moisture content of the rice grains. The relation between the hardness and the moisture content was not the same in the two examined samples, a finding which might affect the frequency of the breaking of different rice samples at the milling process. Drying treatment slightly raised the hexanal content of rice grains, and also raised the water absorption ratio of the polished rice grains.

Key words : 長期貯蔵米, 精米, 碎米

緒 言

古米が精米時に砕けやすいことは昭和 30 年代後半から昭和 40 年代前半の古米を用いた清酒醸造の全国的調査で報告されている^{1,2,3)}。我々は、最近、低温で 5 年間以上貯蔵された玄米（以下「長期貯蔵米」という。）の酒造適性を調べた結果、これらの米も古米と同様に精米時に砕けやすい欠点が見いだされた⁴⁾。精米時に碎米が発生する一般的な原因としては、精米機のロール回転速度が速すぎる場合やロールに傷がある場合などが知られている⁵⁾。その他に米に原因がある場合として、玄米水分との関係が報告されている^{6~9)}。これらの報告を総合すると、玄米水分が 15%を超えると急激に碎米率が増加する。これらの報告のうち熊

谷らの報告⁶⁾は玄米水分を 17.17%と 13.73%に調整して実用スケールの精米機で精米特性を検討したものであり、その他はテストミル⁷⁾又は堅型の超小型精米機^{8,9)}で検討した結果である。我々が長期貯蔵米について 1 俵張り小型醸造精米機で検討したところ、碎米率の高いものが多く見られたが、水分含量の高いものが必ずしも高い碎米率を示さず、玄米水分と碎米率との間には、一見、明確な関係は見られなかった⁴⁾。今回、長期貯蔵米精米時の碎米発生原因を検討し、碎米発生低減の一助とすることを目的として実験を行った。

実験材料及び実験方法

1. 実験材料

前報⁴⁾において酒造適性を検討した平成 8, 9 及び

10年産長期貯蔵米の16点及び平成15年産日本晴の精米直前に分取した玄米を12℃の低温庫で貯蔵し、今回の検討に用いた。1俵張り小型醸造精米機試験に供した試料は、前報とは別ロットの平成9年産朝の光（埼玉）及びゆきの精（新潟）を用いた。試料は30kg紙袋入玄米で平成16年2月に入荷し、入荷直後の精米試験に供したものの以外は12℃の低温庫で貯蔵して使用した。

2. 実験方法

(1) 超小型精米機による精米試験

チヨダ製 HS-4 超小型精米機（ロールメッシュ 60 番）¹⁰⁾を用いた。試験目的に沿うため、標準的な精米条件よりも碎米が発生しやすい条件で試験した。すなわち、回転数を1800回転/分一定（周速度565m/分）、張込量80gとした。この条件下での見かけ70%までの精米時間は25分～45分であった。

(2) 1俵張り小型醸造精米機による精米試験

チヨダ製 HS-08 CNC 1俵張り小型醸造精米機（ロールメッシュ 70 番）により行った。玄米60kgを張り込み、Table 1 の条件で精米した。ただし、玄米試料を採取した水分未調整のものは50kgで精米を行った。この第1段階のロールの周速度は802m/分で、前報よりもやや遅くなっている。

(3) 玄米の水分調整

超小型精米機試験に供した小ロットの試料は、酒造用原料米全国統一分析法（以下「統一分析法」という。）¹¹⁾と同様に水分調整を行った。1俵張り小型醸造精米機試験に供した試料は、簀子張りの箱のなかにサラン布を敷いて、その上に玄米を広げ、下から加温した湯気を供給し時々攪拌して加温した。乾燥は同じ道具を用いて湿度約35%、気温30℃の部屋で時々攪拌しながら行った。処理はいずれも最長2日間とした。水分調整処理が終了後、玄米は再度紙袋に充填し、水

分が均一化してから水分を測定して試験に供した。

(4) その他の分析

水分、碎米率及び吸水率は統一分析法により分析した。砕粒率及びヘキサナールは前報⁴⁾と同様に測定した。剛度（破壊強度）は藤原製作所製木屋式デジタル硬度計を用いて測定した。

結果及び考察

1. 超小型精米機における長期貯蔵米の精米特性

長期貯蔵米の精米試験をテストミルと1俵張り小型醸造精米機で行ったところ、砕け易さの順序にはある程度の類似性が認められたが、数値には相関 ($R^2 = 0.0091$) は見られなかった⁴⁾。そこで、1俵張り小型醸造精米機の前段階の検討に、超小型精米機による検討が有効であるか否かを、調べた。見かけ70%を目標として通常の運転条件（1400rpm、張込量50g）で長期貯蔵米を超小型精米機で精米したところ碎米率

Fig. 1 Relationship between the broken rice ratio (%) on a 60 kg scale mill and on a compact testing mill.

Table 1 Conditions of polishing process of 60 kg scale mill.

Operation Step	Degree of polishing (%)	Rotation frequency (rpm)	Electric current of motor (A)	Shutter of feeder
1	90	1200	6.5	3
2	80	1150	6.5	2
3	73	1100	6.5	2
4	68	1100	6.5	2

Fig. 2 Effect of the moisture content of rice grains on the broken rice ratio and on loss in a milling step on a compact testing mill. The arrows show the initial moisture content of the rice samples, respectively. Data are the means $\pm$ standard deviation of three replicates.

Fig. 3 Humidification and drying procedures of the rice samples tested.

が低かったため、高い碎米率を生じる条件として実験方法に記載の条件を定め、以後の試験を行った。前報の試料 17 点の超小型精米機における試験結果と 1 俵張り小型醸造精米機の試験結果を比較すると、相関 ($R^2=0.3552$) は大きくないがテストミルの場合よりも高い相関関係が見られ、超小型精米機による試験が前段階の検討に有効であることが判明した (Fig. 1)。

2. 玄米水分の影響

(1) 水分調整した試料の精米試験

平成 9 年産朝の光及びゆきの精の玄米水分を 11% ~ 16.5% に調整し、超小型精米機により見かけ 70% まで精米した時の碎米率及び無効精米歩合は Fig. 2 のとおりであった。グラフ中の各点は 3 回の精米試験の平均値を、また、矢印は水分調整を開始する前の玄米水分を示している。新米で報告されている^{7,8)} よう

に、両試料ともに玄米水分が 15% を超えると碎米率、無効精米歩合ともに急激に増加した。一方、通常の玄米水分よりも低い 11~13.5% では、長期貯蔵米でも新米と同様に、碎米率は低かった。このことから、乾燥処理によって碎米の発生を低減できる可能性があると考えられた。

(2) 繰り返し水分調整の影響

玄米水分に依存する碎米率の変化が、短期間の繰り返し水分調整でどの程度保持されるのかを検討した。Fig. 3 の手順のとおり、一度高い水分まで加湿処理を行い、その後、また乾燥して水分含量の異なる試料を調整し、精米試験を行った。繰り返し水分調整を行った両試料ともに玄米水分が 15% を超えると碎米が発生しやすくなる傾向が認められ、低い水分では碎米の発生率は低かった (Fig. 4)。この結果は、精米時の碎米の発生率が精米直前の玄米水分に強く影響されることを示している。以上から、繰り返し水分調整を行っても玄米水分と碎米発生との関係はある程度保持されることが確認された。ただし、ここで観察された関係は Fig. 2 の結果と全く同じではなく、朝の光では水分 14% でもやや高い碎米率を示した。これは、繰り返しの水分調整によって米粒組織に何らかの変化を生じ砕けやすくなったこと、あるいは水分調整後の水分均一化が不十分であったことなどが原因と考えられた。

(3) 玄米水分と剛度

玄米の水分が異なると米の剛度に差が見られ、水分が多いほど剛度は小さくなり、それが精米時の碎米発

Fig. 4 Effect of moisture content on the re-arrangement of rice grains on the broken rice ratio and on loss in the milling step using a compact testing mill. Data are the means $\pm$ standard deviation of three replicates.

Fig. 5 Relationship between hardness and the moisture content of rice samples tested. Data are the means $\pm$ standard deviation of a hundred replicates.

生に関係していることが知られている¹²⁾。そこで、今回検討した2つの試料の剛度を各水分点ごとに測定したところ、結果はFig. 5のとおりであった。測定値にバラツキはあったが、剛度の平均値は玄米水分の変化に対応しており、長期貯蔵米においても、新米を用いた過去の報告^{7,8)}と同様の結果が確認された。ただし、剛度の水分依存性は検討した2品種間で異なっており、同じ水分15.1%の時に朝の光の剛度の平均値は8.03、ゆきの精のそれは8.91であった。朝の光は水分15%を超えると高い碎米率を示すが、ゆきの精は水分が15%をわずかに超えたところでも碎米率は比較的低かった。剛度データと精米時の碎米発生の挙動が良く一致することは、剛度が碎米発生の予測に有

効である可能性を示している。このような試料ごとに異なる玄米水分に依存した剛度の差が、同じ水分含有量でも米の品種や生産年度が異なると顕著に異なる碎米率を示す原因の一つと考えられた。

(4) その他試料の乾燥効果

平成9年産2試料で見られた乾燥処理による碎米率低下が、その他の長期貯蔵米試料でも見られるかを、前報⁴⁾の1俵張り小型醸造精米機試験で高い碎米率を示した試料を重量比で約1.5%乾燥して調べた。結果はTable 2のとおり、検討した全ての試料で乾燥処理により、剛度の平均値が増加し、同時に碎米率を低下させる効果が見られた。また、対照の平成15年産日本晴においても同様の効果が認められた。一方、剛度

Fig. 6 Effect of the moisture content of rice grains on the broken rice ratio in a milling step using a 60 kg scale mill.

Table 2 Effect of drying treatment on hardness and broken rice grain ratio for compact test mill.

Variety name	Year produced	Non-dried			Dried		
		Moisture content (%)	Hardness* (kg/m ²)	Broken rice ratio (%)	Moisture content (%)	Hardness* (kg/m ²)	Broken rice ratio (%)
Kirara 397	1997	14.9	6.43±1.01	10.0	13.3	8.36±1.32	8.7
Asanohikari	1998	14.0	7.06±1.46	16.2	12.8	9.97±1.39	6.0
Nipponbare	1996	14.4	7.36±1.47	9.5	12.8	10.04±1.27	3.2
Nipponbare	1997	14.2	6.72±1.33	7.7	12.8	9.63±1.71	1.5
Nakateshinsenbon	1997	14.4	7.81±1.56	17.2	12.8	11.62±2.60	7.4
Reihou	1997	14.5	7.04±1.02	10.9	12.9	10.75±1.59	4.4
Reihou	1998	14.3	8.23±1.38	17.3	12.7	10.20±1.88	5.4
Nipponbare	2003	14.5	7.52±1.37	5.1	13.0	11.32±1.74	2.7

*Mean value and standard deviation of fifty measurements for brown rice grains are shown.

の平均値の増加及び碎米率の低下率は一様ではなく、同じ品種でも生産年度が異なれば変化の程度に差が見られた。このばらつきには前項で考察したように各試料ごとに水分と剛度の関係が異なることのほか、試料によって米粒の不揃いに由来する剛度のばらつきも影響しているものと考えられた。すなわち、平成9年産中生新千本では乾燥処理により剛度の平均値は高くなったが、その標準偏差は大きく、剛度の低い粒がある程度の割合で存在することから、これが乾燥処理しても碎米率がそれほど大きく低下しなかった原因の一つと考えられた。平成9年産中生新千本及び平成15年

産日本晴新米は水分約1.5%の乾燥によって剛度がその他の試料と比較して大きく増加したがその理由は不明である。

以上の検討結果から、長期貯蔵米を適宜乾燥処理することにより、実用型の精米機でも碎米の発生が低減できるのではないかと考えられた。

3. 1 俵張り小型醸造精米機による乾燥処理効果の評価

平成9年産朝の光及びゆきの精を試料として、60 kg単位で水分調整を行い1俵張り小型醸造精米機による試験を行った。精米の条件は、Table 1に示した

Table 3 Moisture content of brown rice and loss in polishing on the 60 kg scale mill.

Sample	Moisture content of brown rice (%)	Apparent polishing rate (%)	Loss in polishing (%)
<i>Asanohikari</i>	14.6	67.5	3.4
	1997		
	14.6	73.0	2.9
	13.6	73.5	1.3
<i>Yukinosei</i>	11.8	59.7	3.1
	15.4	70.3	4.1
	1997		
	15.0	71.2	2.8
	15.0	70.0	0.8
	14.5	73.3	1.1
	12.2	60.7	0.6

とおりで、前報よりも初期の周速度を少し下げたものである。この初期の周速度は実用機の周速度（約1,250～830 m/分¹³⁾）のほぼ下限に相当する。精米試験は朝の光で4回、ゆきの精で5回行ったが、その見かけの精米歩合ごとの碎粒率の変化はFig. 6のとおりであった。また、Table 3にはこの試験終了後の見かけの精米歩合と無効精米歩合を示した。全体的には、超小型精米機の試験から予想されたとおり玄米水分に依存して碎粒発生率が変化し、乾燥した場合には碎米の発生は良好に抑えられ、それとともに無効精米歩合も低くなった。それぞれ玄米水分を11.8%（朝の光）、12.2%（ゆきの精）まで乾燥処理をした試料を見かけの精米歩合約60%まで精米しても、目立った碎米の増加は認められなかった。乾燥処理による無効精米歩合の低下効果は、とりわけゆきの精で顕著であった。ゆきの精の水分15%試料の碎粒率が2回の試験で極端にばらついたが、この原因としては水分15%が碎米発生率の急変動点の近くであったことに加えて水分測定試料の採取から精米試験開始までの期間が異なったため、その間に試料水分がわずかに変動し、結果として碎粒率が大きくばらついたと考えられた。

4. 乾燥処理に伴う米質の変化

玄米の乾燥処理によって玄米の外見については目立った変化は見られなかったが、乾燥処理によって米の劣化が進行することが予想されたため、乾燥処理前後に劣化の指標であるヘキサナール含量を測定した。結果はTable 4のとおりで、ヘキサナールは乾燥処理に

よりやや増加した。また、一般に精米後の白米水分が低下すると吸水率が増加する¹⁴⁾ので、乾燥処理した長期貯蔵米70%白米の吸水試験を統一分析法に従って行った。その結果20分吸水はやや増加し、120分吸水率は熊谷らの式にほぼ従う増加がみられた（Table 5）。白米の浸漬過程における挙動の変化も想定されたため、吸水試験に用いた試料から整粒100粒をランダムに選び15°C水中で浸漬し状態の観察を行った。浸漬開始後約30分では、胴割れ方向に明確な割れが見られた粒の割合は、朝の光の未処理12%、同乾燥処理7%、ゆきの精の未処理44%、同乾燥処理40%、平成15年産日本晴の未処理19%、同乾燥処理29%であり、試料間の差が大きかったが、長期貯蔵米では乾燥処理と比較して未処理の方がやや多い傾向を示した。一方120分浸漬後に明確に割れが見える粒の割合は、朝の光の未処理9%、同乾燥処理14%、ゆきの精の未処理40%、同乾燥処理54%、平成15年産日本晴の未処理17%、同乾燥処理32%であり、試料間差が大きかったが、未処理と比較して乾燥処理の割れが多い傾向を示した。なお、未処理のものには全体が乳白化する過程で割れ目が見えなくなるものがあり30分より120分の割合が減少した。

以上から、玄米の乾燥処理は精米時の碎米発生の低減に有効であるが、過度の乾燥処理は白米吸水速度及び吸水率の増加、浸漬時の割れの増加などにつながる。乾燥処理を行う場合には、枯らし期間を十分にとるなどの精米後の白米水分の管理、白米の吸水管理

Table 4 Hexanal content of polished rice samples.

Sample	Hexanal (ppm)	
	Non-dried	Dried
<i>Asanohikari</i> (1997)	(M.C.*=14.6)	(M.C.=11.2)
Brown rice	2.57	3.16
Polished rice	2.08	1.97
Rice bran	10.78	12.71
Rice polished	4.51	5.81
<i>Yukinosei</i> (1997)	(M.C.=14.8)	(M.C.=11.3)
Brown rice	3.87	4.22
Polished rice	1.95	2.03
Rice bran	22.56	24.68
Rice polished	3.66	4.38
<i>Nipponbare</i> (2004)	(M.C.=15.2)	(M.C.=11.3)
Brown rice	1.01	0.93
Polished rice	0.72	0.68
Rice bran	4.75	5.80
Rice polished	1.34	1.63

*M.C. means moisture content.

Table 5 Water absorption of polished rice samples.

Sample	Moisture content	Water absorption at 20 min	Water absorption at 120 min
	(%)	(%)	(%)
<i>Asanohikari</i> (1997)			
Non-dried	14.6	23.1	28.7
Dried	11.2	25.0	37.7
<i>Yukinosei</i> (1997)			
Non-dried	14.8	25.2	28.7
Dried	11.3	28.9	40.0
<i>Nipponbare</i> (2003)			
Non-dried	15.2	27.4	29.1
Dried	11.3	30.0	39.9

に十分留意する必要がある。

要 約

1 既に新米で報告されているとおり、長期貯蔵米においても精米時の碎米発生には玄米水分が深く関与しており、11～13.5%の玄米水分では碎米が発生しにくく、一方、15%以上の高い水分では碎米が多く発生した。

2 乾燥処理して玄米水分を下げることにより長期貯蔵米精米時の碎米発生が低減できる可能性が示された。

また、その効果は1俵張り小型醸造精米機による試験で確認された。乾燥処理による同様の効果は長期貯蔵米だけでなく新米においても期待できることが示唆された。

3 長期貯蔵米の剛度は玄米水分に依存して変動し、試料ごとにその傾向が異なっていた。この剛度と玄米水分の関係が試料ごとに大きく異なる精米時碎米率の高低と関係していると推定された。

4 玄米の乾燥処理はヘキサナールをやや増加させた。

また、白米の吸水速度及び吸水率を高めた。乾燥した長期貯蔵米の白米は吸水過程でひび割れが生じ易くなるので精米後の白米水分管理，吸水管理に注意が必要である。

文 献

- 1) 国税庁醸造試験所第一研究室：醸協，**63**，1124-1139 (1968)
- 2) 戸塚 昭：醸協，**64**，583-587 (1969)
- 3) 難波康之祐：醸協，**75**，469-473 (1980)
- 4) 奥田将生ら（本誌投稿中）
- 5) 荒巻 功：「増補改訂清酒製造技術」，日本醸造協会，109 (1997)
- 6) 熊谷知栄子，坂野大義，秋山裕一：醸協，**73**，808-810 (1978)
- 7) 曾我英介，高岡祥夫，花本秀生，米崎治男：**74**，121-122 (1979)
- 8) 武田俊久，荒巻 功，木崎康造，岡崎直人：醸協，**89**，477-480 (1994)
- 9) 小出章二，西山喜雄，滝川裕子：農業機械学会誌，**60(5)**，19-26 (1998)
- 10) 荒巻 功，武田俊久，清水 明，増井計彦，木崎康造，小林信也，岡崎直人：醸協，**88**，639-644 (1993)
- 11) 酒米研究会編：「酒造用原料米全国統一分析法」，酒米研究会 (1996)
- 12) 灘酒研究会編：「改訂灘の酒用語集」，灘酒研究会，47 (1997)
- 13) 為久博文：第23回酒米懇談会講演要旨集，72 (1999)
- 14) 熊谷知栄子，黒柳嘉弘，野白喜久雄：醸協，**71**，718-722 (1976)