



Title	米の高品質貯蔵技術
Author(s)	川村, 周三
Citation	農業機械学会誌, 67(1), 19-23 https://doi.org/10.11357/jsam1937.67.19
Issue Date	2005
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/70967
Rights	© 農業機械学会; © The Japanese Society of Agricultural Machinery
Type	article
File Information	67_19.pdf



[Instructions for use](#)

米の高品質貯蔵技術

Rice Storage Techniques for Preserving High Quality

Shuso KAWAMURA

キーワード：超低温貯蔵，自然低温エネルギー，凍結温度，凍結傷害，品質，食味，米の長期備蓄貯蔵

Keywords：super-low-temperature storage, natural low-temperature energy, freezing temperature, freezing injury, quality, taste, long-term rice stockpile

はじめに

わが国では古くから玄米貯蔵，玄米流通が一般的に行われている。玄米貯蔵には，常温貯蔵と低温貯蔵とがある。低温貯蔵では冷却装置を使い年間通して倉庫内温度を15℃以下に保つ。そのおかげで，害虫の発生や米の品質劣化を抑えることができる。

玄米ではなく粳で貯蔵を行うと，粳殻が玄米を物理的・生物的に保護するため，害虫や微生物の侵入を防ぎ，米の生理活性を抑制する。そのため，粳貯蔵は玄米貯蔵に比べて品質保持効果が高い。そこで近年は粳貯蔵を行うカントリーエレベータが全国的に増加している。

北海道における米の共乾施設は，1995年以前はライスセンタが中心であった。1995年に食糧管理法が廃止され，新たに「主要食糧の需給及び価格の安定に関する法律」が施行された。その結果，米の商取引が自由になり産地間競争が一段と厳しくなった。そこで北海道では，高品質で大ロットの米を出荷するために，1996年以後，カントリーエレベータを相次いで建設している。

ここでは米の高品質貯蔵技術として，「氷点下での米の貯蔵」について述べる。また，北海道で建設されたカントリーエレベータで実用化試験を行い，現在その技術が普及している「冬季の寒冷外気を利用した米の高品質貯蔵技術」について紹介する。

1. 米の凍結温度と凍結傷害および氷点下での米の貯蔵（超低温貯蔵）

粳の水分と凍結温度の関係を明らかにするために，水分が異なる粳を調整して示差走査熱量分析により凍結温度を測定した。その結果，水分20.8%以下の粳は，-55℃まで冷却しても凍結せず，凍結温度は測定できなかった。

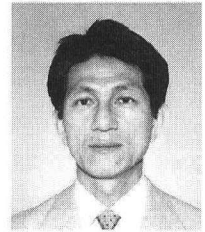
粳の水分と冷却温度を変えて冷却した後の発芽率を測定することにより，凍結傷害の有無を調べた。その結果，図1に示すように，水分が17.8%以下の粳は-80℃に冷却した場合でも発芽率が低下しなかった。すなわち，水分17.8%以下の粳は-80℃においても凍結傷害は発生しないことが明らかとなった。以上のことから，実用的な粳の貯蔵において，自然条件下では粳が凍結し凍結傷害が発生する可能性はないことが明らかとなった

川村周三

(かわむら しゅうそう)

1954年3月生

北海道大学農学部助手を経て，現在，北海道大学大学院農学研究科農産物加工工学分野助教授
農業機械学会正会員



(Kawamura et al., 2000 ; Kawamura et al., 2003)。

玄米を-15℃で貯蔵する基礎試験を行い，氷点下での米の貯蔵が低温貯蔵よりさらに高い品質を保持できることを明らかにした。そこで氷点下で米を貯蔵することを，米の新しい貯蔵技術として，超低温貯蔵と呼ぶこととした。超低温貯蔵は従来から行われている低温貯蔵よりも低い温度で米を貯蔵することから名付けた。

ところが，実用規模のサイロや貯蔵庫では外気温度の季節変化があり，米の温度を常に氷点下に保つことは，貯蔵コストを考慮すると，実用的ではないと思われた。そこで，実用レベルにおける米の超低温貯蔵として，「貯蔵期間中の穀温が1カ月以上氷点下である貯蔵方式」と定義した (Kawamura, 1996 ; Kawamura et al., 1997 ; Kawamura et al., 1999)。

2. 冬季の寒冷外気を利用した超低温貯蔵技術の開発

(1) 超低温貯蔵の実用化試験

1996年秋に当時としては北海道で唯一のカントリーエレベータ（上川ライスターミナル）が竣工し，本格的な粳貯蔵が開始された。この時点では，氷点下で米を貯蔵する技術は実用化されていなかった。その最大の理由は，米を氷点下で貯蔵するためには冷却装置の設備費や運転経費がかかると予想されたためである。ところが，北海道のような寒冷地では冬季の自然の冷気を米の冷却に利用することができるため，超低温貯蔵が実用的に可能であると考えた。

すなわち，北海道のような寒冷地の特徴を生かした粳貯蔵を行う新技術を確認することを目的に，上川ライスターミナルの建設に合わせて1996年から1998年に超低温貯蔵を実用化するための実証試験を行った。さらに新たに建設された雨竜町ライスコンビナートで1999年から

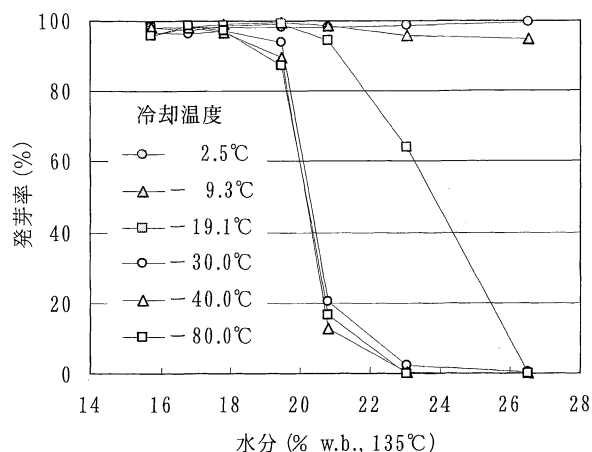


図1 水分の異なる粉を11日間冷却した後の発芽率 (凍結傷害)

2000年にかけて再度実証試験を行い、その有効性を確認した。(Kawamura et al., 2001; Takekura et al., 2003 a; 2003 b; 2003 c; 2003 d; Kawamura et al., 2004)

(2) 貯蔵条件

上川ライスターミナルのサイロを用いて、きらら397の粉378tを貯蔵した。貯蔵期間は1997年11月から1998年8月までの約9ヵ月間であった。1998年2月に、 -5°C 以下の外気を断続的に延べ114時間サイロへ通風した。雨竜町ライスコンビナートでは、きらら397の粉500tとほしのゆめの粉494tをそれぞれサイロに貯蔵した。貯蔵期間は1999年11月から2000年7月までの約8ヵ月間であった。2000年1月に、 -7°C 以下の外気を断続的に延べ91時間サイロへ通風した。サイロへの通風は2基同時におこなった。

いずれの貯蔵試験においても、サイロ貯蔵と並行して比較対照のために -5°C 貯蔵(冷凍庫)、低温貯蔵(サイロの近隣にある低温倉庫)、室温貯蔵(大学の実験室)の3条件でそれぞれ約20kgの粉を貯蔵した。

(3) 貯蔵中の温度

図2に貯蔵中の粉温度の一例を示した。貯蔵中の外気温度は、最低で -22°C まで低下した。日最低気温が氷点下であったのは、11月下旬から4月上旬にかけての5ヵ月あまりであった。

11月から2月にかけてサイロ内壁付近の粉の穀温は、自然放冷により低下した。しかし、サイロ中心部の粉の穀温は貯蔵開始時とほぼ同じであった。2月上旬にサイロ内へ外気を通風することによって、サイロ内すべての粉の穀温が氷点下になった。最低穀温は、2月上旬に内壁付近が約 -7°C であった。サイロ中心部の粉の穀温は、7月中旬まで氷点下であった。サイロ内すべての粉の穀温が氷点下であった期間は、2月上旬から3月下旬にかけての約1.5ヵ月間であった。すなわち、自然の寒冷外気を米の冷却に利用することにより実用的に超低温貯蔵(氷点下での米の貯蔵)が可能であることが実証された。

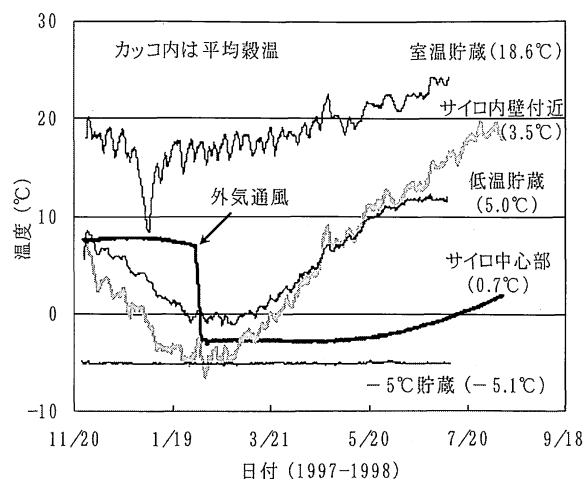


図2 貯蔵中の粉温度の変化と平均粉温度

対照貯蔵の室温貯蔵では穀温は概ね 15°C 以上であり、7月上旬には約 25°C にまで上昇した。低温貯蔵の穀温は最低で -1°C 程度であり、夏季に庫内温度が高くなると冷却装置が作動して、穀温は 12°C 程度に保たれた。貯蔵中の平均穀温は、サイロ貯蔵のサイロ中心部が 0.7°C 、内壁付近が 3.5°C 、 -5°C 貯蔵が -5.1°C 、低温貯蔵が 5.0°C 、室温貯蔵が 18.6°C であった。

(4) 粉の比熱と熱伝導率

水分16%程度の粉の比熱は $1.5\sim 2.0\text{ kJ/kg/K}$ である。これは木材の 1.3 kJ/kg/K やコンクリートの 0.8 kJ/kg/K 、鉄の 0.5 kJ/kg/K などと比較して大きい。そのため、粉はいったん冷却されると粉そのものが保冷材の役割を果たす。また、粉の熱伝導率は $0.07\sim 0.10\text{ W/m/K}$ である。これは鉄の 80 W/m/K やコンクリートの 1 W/m/K などと比較して小さく、木材の 0.15 W/m/K やポリスチレンの 0.1 W/m/K 、グラスウールの 0.04 W/m/K などと同程度の熱伝導率である。そのため、粉そのものが断熱材の性質を持つ。

このように比熱が大きくて熱伝導率が低いという粉の物理特性により、いったん氷点下まで冷却された粉の穀温がそのまま夏季まで低く保たれ、実用規模のサイロ貯蔵において超低温貯蔵が可能となった。

(5) サイロ内の温度差が品質に与える影響

図2に示したように、冬季の寒冷外気の通風によりサイロ全体の穀温は氷点下となり、その後は粉を静置するだけで、サイロ中心部の穀温は7月中旬まで氷点下に保たれた。しかしサイロ内壁付近の穀温は、3月下旬までは氷点下に保たれるが、その後は外気温度の影響により徐々に上昇し、7月中旬には 20°C 近くとなった。このサイロ内壁近付の穀温上昇が粉の品質に悪影響を与えている懸念があった。そこで、貯蔵終了直前にサイロ内各部分から試料を採取し、品質を測定した。試料はサイロ中心部とサイロの東西南北の内壁から約10cm内側の位置で、粉堆積表面から深さ0.1m, 0.5m, 1.0m, 2.0m,

4.0 m の位置の籾をそれぞれ採取した。

発芽率は稲の種子としての生命力を測定した値であり、米の鮮度を示す指標ともなる。サイロ内各部から採取した試料の発芽率はいずれの試料も高く、平均で 98.3% であり、新米と同様な発芽率であった。

脂肪酸度は米の脂質が酵素リパーゼにより加水分解されて生成する遊離脂肪酸の量を測定した値である。米の主成分の中でデンプンやタンパク質に比較して脂質の加水分解が最も早く進み脂肪酸が増加するため、脂肪酸度が品質劣化の指標として広く用いられている。脂肪酸度は、いずれの試料も品質上問題となるような大きな増加はなく、平均で 13.2 mg.KOH であった (図 3)。

サイロ内壁付近の穀温は、貯蔵終了時の 7 月下旬では 20℃ 程度であるが、冬季は約 3 カ月間氷点下であり、貯蔵期間中の内壁付近の平均穀温は 3.5℃ と低かった。その結果、サイロ内壁付近の籾の大きな品質劣化はなかったと考えられる。

(6) 貯蔵前後の品質

貯蔵後の発芽率は -5℃ 貯蔵が最も高く、次にサイロ貯蔵と低温貯蔵が高く、いずれも貯蔵前の発芽率とほぼ同じく 90% 以上であった。一方、室温貯蔵の発芽率は大きく低下し、10% となった (図 4)。

脂肪酸度は貯蔵後にいずれも増加したが、-5℃ 貯蔵が最も増加が抑制されており、次にサイロ貯蔵、低温貯蔵と増加が大きく、室温貯蔵の増加が著しかった (図 5)。

一般に、貯蔵により古米化が進むと米飯の硬さが増加し、粘りが減少する。したがって、テクスチュログラム特性の硬さ/粘り比が低いほど貯蔵状態が良いと判断される。図 6 から貯蔵温度が低いほど硬さ/粘り比が低く、古米化が抑制されることが分かった。

食味試験の総合評価は、貯蔵前に比較してサイロ貯蔵と -5℃ 貯蔵でわずかに良くなり、室温貯蔵では総合評価が大きく低下した (図 7)。通常、米の食味が貯蔵後に良くなることはない。この試験でサイロ貯蔵と -5℃ 貯

蔵の総合評価が貯蔵前に比べて、わずかながらも良くなったのは以下の理由による。

食味試験は、滋賀県産の日本晴を基準米として相対比較法で行った。貯蔵前の食味試験で基準米とした日本晴を冷蔵庫 (3℃~5℃) に玄米で貯蔵し、貯蔵後の基準米

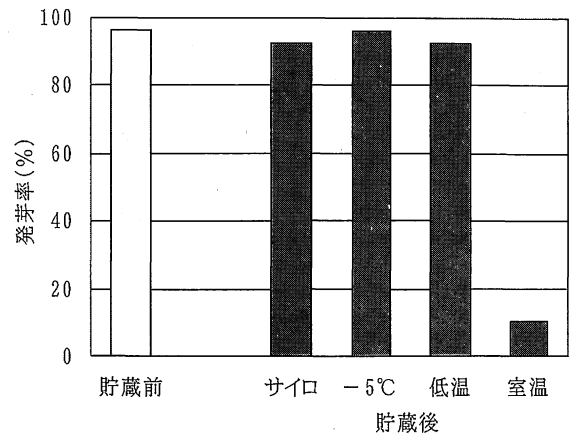


図 4 貯蔵前後の発芽率

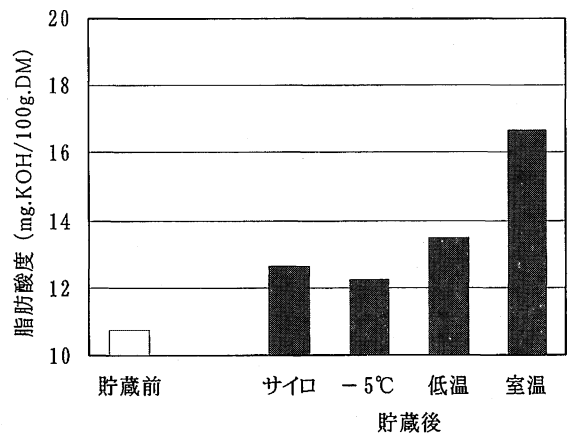


図 5 貯蔵前後の脂肪酸度

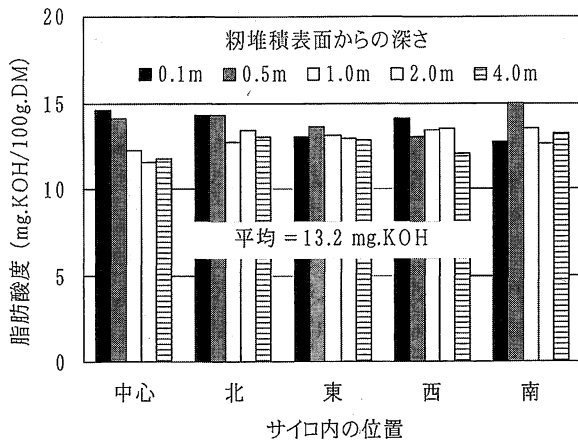


図 3 貯蔵終了直前に採取したサイロ内各部試料の脂肪酸度

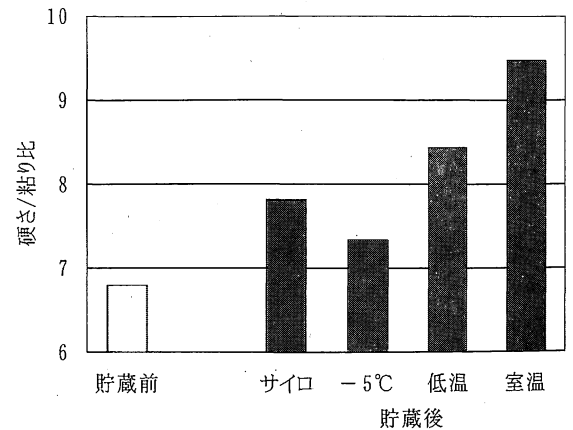


図 6 貯蔵前後のテクスチュログラム特性

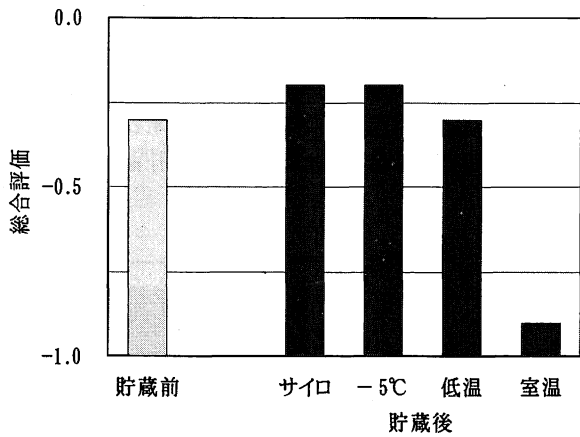


図7 貯蔵前後の食味試験の総合評価

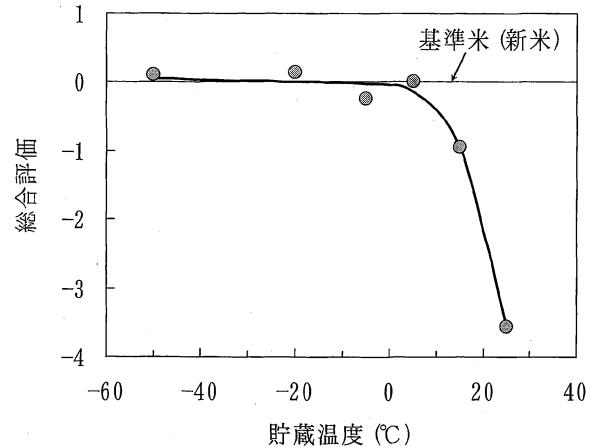


図8 4年間貯蔵した粉の食味試験の総合評価

とした。基準米も貯蔵中に品質が低下する。サイロ貯蔵と -5°C 貯蔵では貯蔵中の平均温度が冷蔵庫よりも低く、かつ粉貯蔵であったため、貯蔵中の品質低下が基準米よりも抑制された。その結果、貯蔵後の総合評価が貯蔵前よりも相対的に良くなった。これは超低温貯蔵による食味の相対的向上であると考えられる。

3. 超低温貯蔵による粉の長期品質保持

超低温貯蔵による長期間の品質保持効果を確認するため、粉を4年間にわたり -50°C から 25°C までの各種温度で貯蔵する基礎試験を行った。その結果、図8に示したように、貯蔵温度 5°C 以下での粉貯蔵では、4年にわたる長期間でも新米と同等な食味を保持できることが明らかになった。この結果および実用施設で超低温貯蔵を行った結果から、貯蔵中の穀温の季節変動がある場合でも、貯蔵期間中の平均穀温を 5°C 以下に保つことにより、数年にわたる粉の高品質保持が可能であると考えられる (Takekura et al., 2004)。

4. 米の最適な貯蔵温度

図9に、米の貯蔵中の平均温度と貯蔵後品質との関係を表す概念図を示した。米は稲の種子として貯蔵中も生きている。米を低温で貯蔵すると米自身の生理活性や酵素活性が抑制され、貯蔵中の品質劣化も抑えられ、新米に近い食味を保持できる。また、乾燥後の米は水分が低いいため凍結傷害が発生する恐れはない。したがって、米は貯蔵中の温度は低ければ低いほど、米の高品質保持が可能である。

温暖地での米の貯蔵は、低温貯蔵であっても貯蔵期間中の平均温度は 10°C 以上となる場合が多い。したがって、温暖地で貯蔵した米に比べて寒冷地で超低温貯蔵した米は、春から夏にかけて品質の低下がわずかであり、相対的に食味が向上する。

5. 冬季の寒冷外気を利用した超低温貯蔵技術の特徴

米の貯蔵温度は低ければ低いほど良い。しかしながら、米の温度を低下させるために冷却設備と電気エネルギーを使うと貯蔵コストが増加するため、実用的には望ま

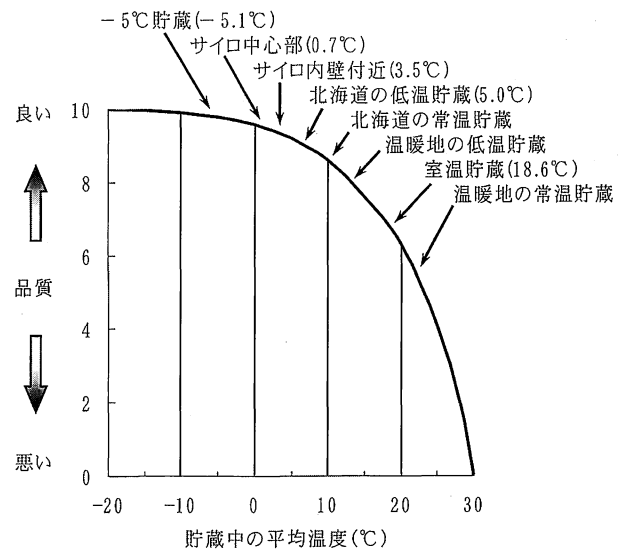


図9 米の貯蔵中の平均温度と貯蔵後品質との関係(概念図)

しくない。一方、寒冷地では冬季の寒冷外気という自然低温エネルギーを利用することにより米を冷却することが可能である。

この貯蔵技術は、冷却設備や冷却のための電気エネルギーを必要としない。そのうえ、貯蔵温度が低いため米の品質保持効果大きい。すなわち、これは寒冷地の自然環境を有効に利用し、低コスト省エネルギーで高品質米を生産する貯蔵技術である。

おわりに

冬季の寒冷外気を利用した粉の超低温貯蔵技術は北海道農業試験会議(2000年1月)の審議を経て北海道農政部から「指導参考事項」として認められた。その結果、北海道における粉貯蔵可能な施設は26カ所となり、その粉貯蔵能力は2004年には11万5千tとなった(図10)。

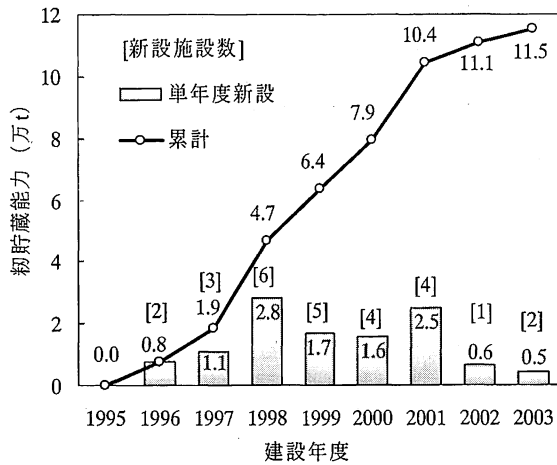


図 10 北海道における粳貯蔵能力

わが国の米の主産地は北海道、東北、北陸地域である。これらの地域は冬季の気温が氷点下となることが多い。このような地域は米の貯蔵に最適な自然環境であり、冬季の寒冷外気を利用した米の高品質貯蔵技術が今後普及することが期待される。

参考文献

- Kawamura, S., 1996. Promise of Improving Quality of Hokkaido-grown Rice. *Journal of Hokkaido Branch of JSAM*, 36, 65-71.
- Kawamura, S. et al., 1997. Super-low Temperature Storage for Preserving Rice Quality. *Proc. of Int. Conf. on Agric. Eng.*

- & Technol., Dhaka, Bangladesh, 3, 820-824.
- Kawamura, S. et al., 1999. Rice Storage below Ice Point Using Natural Coldness to Preserve Its Quality. *ASAE Paper No. 996044*, St. Joseph Mich. USA.
- Kawamura, S. et al., 2000. Long-term Storage of Rough Rice at Temperatures below Ice Point. *ASAE Paper No. 006041*, St. Joseph Mich. USA.
- Kawamura, S. et al., 2001. Rice Storage Controlled at Temperature below Ice Point for Preserving High Quality. *Proc. 3rd IFAC/CIGR Workshop Control Application in Post-harvest and Processing Technology*, Tokyo, Japan, 99-104.
- Kawamura, S. et al., 2003. Freezing Temperature and Freezing Injury of Rough Rice Grains with Various Levels of Moisture Content. *Cryobiology and Cryotechnology*, 49 (2), 97-102.
- Kawamura, S. et al., 2004. Rice Quality Preservation during On-Farm Storage Using Fresh Chilly Air. *Proc. 2004 Int. Quality Grains Conf., Indianapolis, USA*.
- Takekura, K., et al., 2003a. Development of Techniques for Storing Rough Rice in Cold Regions (Part 1). *Journal of JSAM*, 65 (4), 57-64.
- Takekura, K., et al., 2003b. Development of Techniques for Storing Rough Rice in Cold Regions (Part 2). *Journal of JSAM*, 65 (4), 65-70.
- Takekura, K., et al., 2003c. Development of Techniques for Storing Rough Rice in Cold Regions (Part 3). *Journal of JSAM*, 65 (5), 40-47.
- Takekura, K., et al., 2003d. Development of Techniques for Storing Rough Rice in Cold Regions (Part 4). *Journal of JSAM*, 65 (5), 48-54.
- Takekura, K., et al., 2004. Preserving Quality of Rough Rice Stored for Long Period by Super-low-temperature Storage. *Journal of JSAM*, 66 (6), 51-59.