

氷蓄熱冷却式貯蔵庫による伊予柑の貯蔵と
システムの熱負荷特性の解析

疋田慶夫・河野俊夫

Storage Characteristics and Heat Load Analysis of the Ice Storage Refrigeration
System for Freshly Harvested Fruit and Vegetables

Yoshio HIKIDA, Toshio KAWANO

氷蓄熱冷却式貯蔵庫による伊予柑の貯蔵と システムの熱負荷特性の解析*

疋田慶夫*¹・河野俊夫*²

要 旨

氷蓄熱冷却式の貯蔵庫を導入し、伊予柑を利用した貯蔵試験に基づき、従来の冷凍機冷房による貯蔵方式と比較した場合の氷蓄熱方式の貯蔵特性を検討した。また、貯蔵庫と氷蓄熱槽における熱負荷の分析によりシステム稼動時の経済性について考察した。5℃による貯蔵期間中の貯蔵庫内の相対湿度は、約1℃の冷水を利用した蓄熱方式が冷凍機冷房によるものより明らかに高く、蒸散作用による果実の質量減少を顕著に抑制した。また、果実の体積減少も顕著に抑制された。果実の見かけ密度、果皮の色彩、クエン酸および糖含有量においては貯蔵方式による顕著な差異は認められなかった。稼動時の経済性を向上するには、氷蓄熱槽の熱効率の向上が今後の課題である。

[キーワード] 氷蓄熱, 貯蔵, 青果物, 熱負荷

Storage Characteristics and Heat Load Analysis of the Ice Storage Refrigeration System for Freshly Harvested Fruit and Vegetables*

Yoshio HIKIDA*¹, Toshio KAWANO*²

Abstract

A comparison was made between ice and conventional refrigeration storage systems using citrus (*Citrus iyo* Hort. ex Tanaka). Heat load analysis for the cold storage room and ice storage tank of the ice storage system was also conducted. Given that the relative humidity of the storage room set at 5℃ was markedly higher for the ice storage system, the reduction in mass and volume of the stored samples was considerably less in the ice storage system. No noticeable difference between the two storage methods was observed for density, surface color, or citric acid and sugar contents. The reduction of heat load to the ice storage tank is crucial in ensuring the economic viability of the ice storage system.

[Keywords] ice storage refrigeration system, storage, fruit and vegetable, heat load

I 緒 言

昼夜間の電力需要を平準化することによって、発電コストを低減させることができる。これは、顧客・電力会社双方のメリットになり、併せて省エネルギーにも繋がることから、夜間電力を利用した蓄熱空調技術が普及するものと予想される (Ogino, 2000)。また、冷熱を蓄熱

する場合は、氷蓄熱に比べ蓄熱容量の大きい水蓄熱の方が有利であるから、氷蓄熱技術の普及が進展するものと考えられる。今後は、農業関連分野においても氷蓄熱をはじめとする蓄熱空調技術が普及するものと予想され、いくつかの事例が散見される (Kobayashi, 1996, Editorial staff, 1999)。

このような情勢を背景に、我々は青果物の鮮度保持及

* 2000年10月 第104回農業機械学会関西支部例会 (京都大学), 2001年10月 第106回農業機械学会関西支部例会 (高知大学) にて講演

*1 会員, 愛媛大学農学部 (〒790-8566 松山市樽味3丁目5-7 TEL 089-946-9828)
Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama-shi, 790-8566, Japan ;
e-mail of corresponding author : hikida@ehimegw.dpc.ehime-u.ac.jp

*2 会員, 高知大学農学部 (〒783-8502 南国市物部乙200 TEL 088-864-5132)
Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku-shi, 783-8502, Japan

び長期貯蔵を目的とした氷蓄熱貯蔵システムの開発を目指している。本研究では、冷凍機、氷蓄熱槽、冷水ポンプ、熱交換器、プレハブ貯蔵庫より構成される氷蓄熱冷却式の貯蔵庫を試験的に導入した。そして、栽培農家での貯蔵による品質の向上と出荷時期の調整がなされている伊予柑を利用した貯蔵試験に基づき、従来の冷凍機冷房による貯蔵方式と比較した場合の氷蓄熱方式の貯蔵特性について検討した。併せて、貯蔵期間中の貯蔵庫と氷蓄熱槽における熱負荷の分析を行い、経済的なシステムを開発するための方策について考察した。また、貯蔵試験に先立ちシステムの基本特性を確認するための測定を実施したので、その主要な結果について述べる。

最近では、伊予柑の他に高値で取引される晩柑類の生産も盛んで、一部では低温貯蔵による出荷時期の調整がなされている。これら晩柑類の低コスト・高品質貯蔵システムの開発に向けて、本研究の成果を発展させる計画である。

II 実験装置および方法

1. 氷蓄熱冷却式貯蔵庫

導入した貯蔵庫の概略を図1に示す。夜間の時間帯

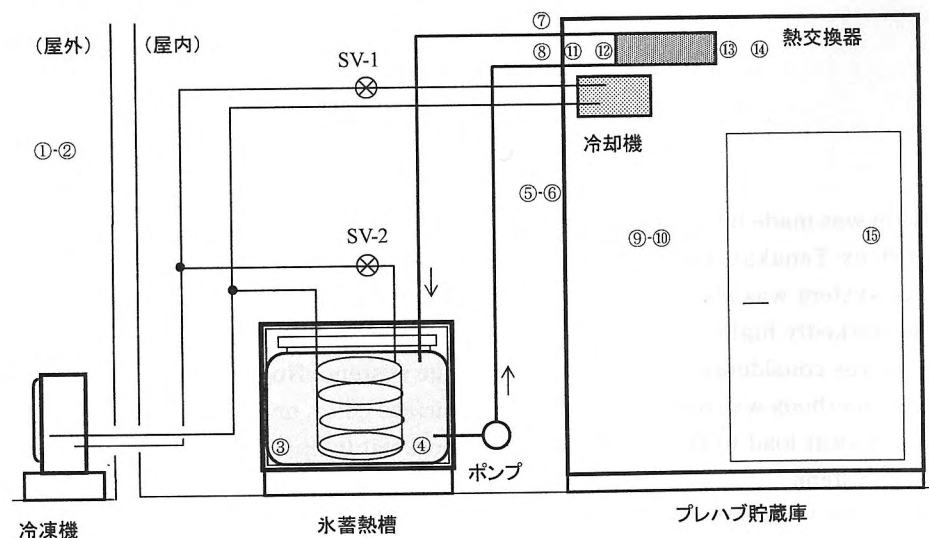


図1 氷蓄熱冷却式貯蔵庫の概略図

Fig. 1 Schematic diagram of the ice storage refrigeration system

表1 貯蔵庫と氷蓄熱槽の熱貫流率

Table 1 Coefficients of overall heat transmission of the storage room and the ice storage tank

	材質	熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	厚さ (mm)	熱抵抗 ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)		熱貫流率 ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
				部分	合計	
貯蔵庫	硬質ウレタンフォーム (断熱材)	0.021	51	2.43	2.65	0.377
	内側境界層			0.11		
	外側境界層			0.11		
氷蓄熱槽	硬質ウレタンフォーム (断熱材)	0.021	35	1.67	1.79	0.559
	ポリエチレン (タンク)			0.33		
	外側境界層			0.11		

(22:00~翌日8:00)に冷凍機(消費電力1,190W)で、断熱された氷蓄熱槽(ポリエチレン製, 500L, 内面寸法1.03×1.03×0.78m)に製氷する。氷蓄熱槽内の冷水はポンプ(消費電力125W, 流量18.2L/min)で循環され、熱交換器(ファンコイルユニット, 消費電力35W, 風量4.1m³/min)でプレハブ貯蔵庫(庫内寸法: 1.7×1.0×2.4m, 断熱材: 硬質ウレタンフォーム51mm)を冷房する。また、冷水による冷房能力が不足する場合に利用する冷却機も設置されている。ここで、氷蓄熱槽は、容量500Lのポリエチレン製タンクを厚さ35mmのウレタンフォームで断熱し、内部に真ちゅう製の冷却コイル(内径14.3mm×15mを2本)を設置して、特別に製作されたものである。プレハブ貯蔵庫と氷蓄熱槽における熱貫流率の計算過程を表1に示した(Tanaka et al., 1989, JSTP, 1990)。ここで、氷蓄熱槽における内側境界層の熱抵抗は、水の熱伝達率が空気に比べ圧倒的に大きいので、無いものとした。

製氷制御はタイマーによる22:00~翌日8:00の時間帯になされ、蓄熱槽内壁に設置されたサーミスタの温度を基に、デジタル調節計(シマデン製SR54)によって冷凍機がオンオフ制御される。貯蔵庫内の温度制御は、庫

内に設置されたサーミスタの温度を基に、デジタル調節計(4.7~5.3°C)によって熱交換器と冷水ポンプをオンオフ制御してなされる。今回の実験では、氷蓄熱槽内の冷水による冷房のみとし、冷却機は使用しなかった。

2. 基本特性の測定

貯蔵特性の測定に先立ち、本システムの基本的な特性を確認するための実験を1999年9月~11月の間に実施した。

(1) 製氷量

水の密度1,000kg/m³と氷の密度917kg/m³より、水から氷への相変化による体積増加を9%とし、この体積増加に伴う水位の変化に基づいて製氷量を測定した。水位測定には中和滴定用のビュレット(容量10ml, 最小目盛り0.05ml)を利用した。氷蓄熱槽に所定の水(392L)を投入し、1L容のメスシリンダーで水を加えながらビュレットの目盛り増加量を測定して、ビュレットの目盛り増加量と製氷量の関係式を求めた。9月1日~2日の間に、冷凍機を20時間連続運転して製氷量の時間変化を測定した。

(2) 各部の温度

測定は、貯蔵庫に青果物を入れず、9月6日~9日(外気温度23.5~31.5°C)、10月8日~12日(外気14.8~29.1°C)、11月17日~22日(外気6.0~19.3°C)の3期間に行った。0.32mmのT熱電対を利用して、外気(乾・湿球温度)、実験室内(乾・湿球)、貯蔵庫内(乾・湿球、別部位の乾球、熱交換器の入口と出口の乾球)、氷蓄熱槽内の冷水、熱交換器の冷水入口と出口の温度を15分間隔で測定した。温度の測定位置は図1に番号で示した。ここで、番号2, 6, 10が乾・湿球温度における湿球である。乾・湿球温度は、風洞(塩化ビニール, 内径42×長さ270mm)にシロッコファン(8W, 最大風量0.44m³/min)を接続した構造のものを製作し、風洞内に設置した乾球と湿球に風速3m/s以上の風を当てて測定した。なお、到達し得る最低の貯蔵庫内温度を知るために、測定中は庫内温度の制御機能を無効にして、冷水ポンプと熱交換器を連続運転の状態にした。

3. 貯蔵特性の測定

氷蓄熱方式による貯蔵特性を従来の冷凍機冷房によるものと比較するため、伊予柑を利用した貯蔵実験を2001年3月~7月に行った(以下、氷蓄熱方式を蓄熱システム、冷凍機冷房によるものを冷蔵庫と呼ぶ)。なお、参考のために冷房装置のない実験室内にも試験区を設けた。本実験で利用した従来の冷凍機冷房による冷蔵庫(小糸工業, M-40LTDH)は庫内寸法が0.83×0.44×1.08mで、冷凍機(450W)とヒーターによって温度制御がなされるものである。

伊予柑の長期貯蔵(約3ヶ月)における温度は6°C前後、適切な湿度は85%とされている。本研究の貯蔵温度は5°Cとし(室内貯蔵区は室温)、貯蔵期間は3月1日~7月17日までの約4ヶ月で、各部の温度と、貯蔵試料の

表2 試料の貯蔵量
Table 2 Sample for the storage test

	階級	質量(kg)	体積(m ³)	体積率(%)
蓄熱システム	2L	51.4	0.11725	2.9
	L	30.6		
	M	11.8		
	計	93.8		
冷蔵庫	2L	5.4	0.0125	3.2
	L	3.3		
	M	1.3		
	計	10.0		
実験室内	2L	8.4	0.01975	—
	L	5.0		
	M	2.4		
	計	15.8		

色彩、質量、体積、見かけ密度、含有成分の変化を測定した。測定は、試料の萎れ、光沢の消失、軟化などにより品質低下の限界を判断し、適宜終了した。

(1) 実験材料

材料は、2001年1月12日に果樹園で収穫した宮内伊予柑(階級2L~M)である。収穫後の伊予柑はプレハブ貯蔵庫に入れ、室温で2週間の予備処理をした後、実験開始日まで5°Cで保存した。

表2に試料の貯蔵量を示す。階級2L~Mのものを蓄熱システムでは約94kg、冷蔵庫では10kg、室内貯蔵区では約16kgを供試した。また、蓄熱システムと冷蔵庫においては、貯蔵条件を統一するため、貯蔵庫内の容積に対する試料の体積の比(体積率)を約3%にした。

(2) 各部の温度

基本特性の測定の項と同様に、各部の温度を測定した。

(3) 色彩、質量、体積、見かけ密度

表2に示した階級2LとLの試料の中から、蓄熱システムではそれぞれ20個体、冷蔵庫と室内貯蔵区ではそれぞれ10個体を継続測定用の試料とし、2週間間隔で個々の果実の色彩、質量、体積を測定した。見かけ密度は質量と体積の測定値から計算により求めた。

色彩は赤道部と果頂部の2個所に印を付け、同一個所を色彩色差計(ミノルタ製CR-100)でL*a*b*表色系による値を測定し、色相変化の指標としてa*/b*値で示した(Nakano et al., 1999, Izumi et al., 1990)。質量及び体積の測定には読み取り限度0.1gの電子天秤を用いた。体積測定には試料個体を水中に沈め浮力を測定する方法を採用した。

(4) 含有成分

クエン酸と糖含有量の測定を行った。測定は実験開始時、開始後41日、同97日(蓄熱システムと冷蔵庫のみ)、同139日(実験終了時、蓄熱システムのみ)に実施した。1回の測定には、それぞれの試験区で階級2L, L, Mの試料を合わせて10~20個体使用し、赤道部で切断した試料から搾り出した果汁を利用した。クエン酸含有

量は、得られた果汁を濾紙(東洋ろ紙、直径90mm)で濾過して繊維分を除去した後、メンブレンフィルター(Pore size 0.45 μ m)で再度濾過して試料液とし、高速液体クロマトグラフィー(島津製作所製 LC-10AT, 紫外可視分光光度計, カラム: Shim-pack SCR-101H, 移動相: 5mM 過塩素酸水溶液, 試料: 5 μ L)で測定した。糖含有量はブリックス糖度計(アタゴ製 IPR-101)で測定した。

4. 熱負荷の分析

(1) 熱負荷について

空気調和における熱負荷は、室負荷(室内に侵入する熱量と室内で発生する熱量)、空調機負荷(室負荷に、室内へ空気を供給するファンの発熱量やダクトからの熱取得を加えたもの)および熱源負荷(空調機負荷に、配管からの熱取得とポンプの発熱量を加えたもの)に分類されている(Inoue, 1996)。図1に示した蓄熱システムにおいては、貯蔵庫壁面からの伝導熱量と青果物の呼吸熱が室負荷に相当し、これに熱交換器のファンの発熱量を加えたものが空調機負荷に相当する。熱源負荷は、この空調機負荷に、水蓄熱槽における伝導熱量、冷水用配管からの熱取得および冷水ポンプからの発熱量を加えたものである(ポンプからの発熱量は大気中へ発散するものもあるので、発熱量の一部が熱源負荷となる)。従って、蓄熱システムでは、冷凍機で直接冷房する従来の冷房方式に比べ、水蓄熱槽と配管およびポンプからの熱負荷が余分に加わることになる。

ここでは、蓄熱システムにおける貯蔵庫と水蓄熱槽の伝導熱負荷を求め、システム稼働時における経済性について考察することにした。本実験では、2週間間隔の色彩、質量、体積、見かけ密度の測定時以外には貯蔵庫の扉の開閉は行わず、換気扇も設置されていないので、換気による熱負荷は考慮しなかった。

(2) 貯蔵庫と水蓄熱槽の伝導熱負荷

上記3.の伊予柑を利用した貯蔵特性の測定時(貯蔵温度は5 $^{\circ}$ C)に15分間隔で実測した実験室内温度、貯蔵庫内温度、水蓄熱槽内冷水温度を利用して、表1に示した熱貫流率と伝熱面積(貯蔵庫 16.36 m², 水蓄熱槽 5.34 m²)から15分間の伝導熱量を計算し(Ijiri, 1994), 24時間分を積算して1日当りの伝導熱負荷を求めた。期間は3月1日~7月17日までの約4ヶ月である。

III 実験結果および考察

1. 基本特性

(1) 製水量

単位時間当たりの製水量は約11kgで、20時間で約200kgの水が得られた。22:00から翌日8:00までの10時間の製水時間帯に、冷房に必要な水がほぼ製水されることが分かった。

(2) 冷水および貯蔵庫内の温度

熱交換器における交換熱量を計算する場合、入口の冷水温度は重要な要素である。実験で得られた熱交換器入

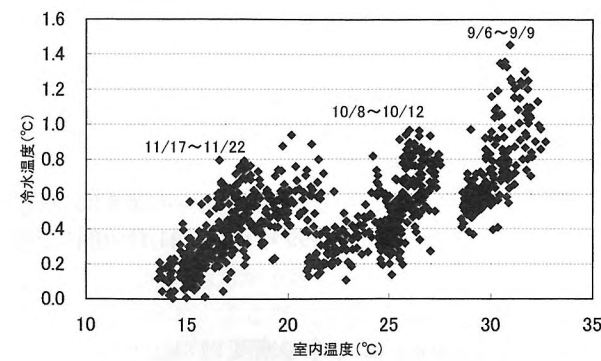


図2 実験室内温度と冷水入口温度

Fig. 2 Temperature of ice-cooled water at the inlet of the heat exchanger

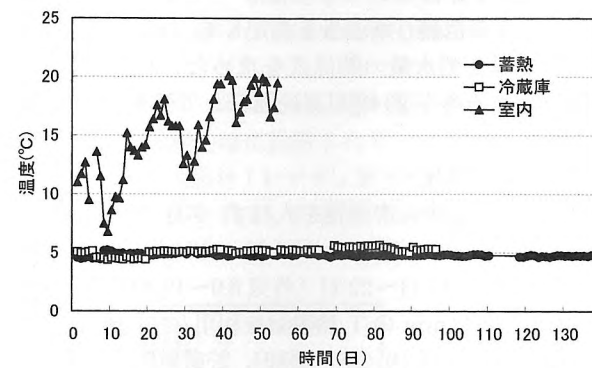


図3 貯蔵中の日平均温度

Fig. 3 Daily mean value of storage temperature

口の冷水温度を図2に示す。冷水の温度は室内の温度に依存し、季節的にも変動が見られるが、9月の期間(室内平均温度30.2 $^{\circ}$ C)で約1.0 $^{\circ}$ C、10月(24.8 $^{\circ}$ C)で約0.6 $^{\circ}$ C、11月(17.1 $^{\circ}$ C)で約0.4 $^{\circ}$ Cであった。この結果より、得られる冷水温度の目安は、高めに見積もって約1 $^{\circ}$ Cであることが分かった。また、水蓄熱槽内で測定した冷水の温度もほぼ同様な値であった。

著者ら(Hikida and Abe, 2001)が、実験より得られた温度データと気象庁年報に記録されている外気温度を利用して、本貯蔵庫を年間稼働させたときの到達し得る最低貯蔵温度を1時間毎に推定した結果、カンキツを600kg貯蔵した場合でも約4 $^{\circ}$ Cを確保できることが分かった。

2. 貯蔵特性

(1) 貯蔵中の温・湿度および水蒸気圧差

貯蔵中の日平均温度の変化を図3に示す。室内貯蔵区では気温の上昇により20 $^{\circ}$ C付近まで増加した。蓄熱システムと冷蔵庫では、冷蔵庫で平均0.5 $^{\circ}$ C程高い結果となったが、ほぼ設定値の5 $^{\circ}$ Cに制御された。温度の振幅は、1日の測定値の標準偏差を貯蔵期間で平均すると、蓄熱システムで0.73 $^{\circ}$ C、冷蔵庫で0.83 $^{\circ}$ Cとなり、冷媒温

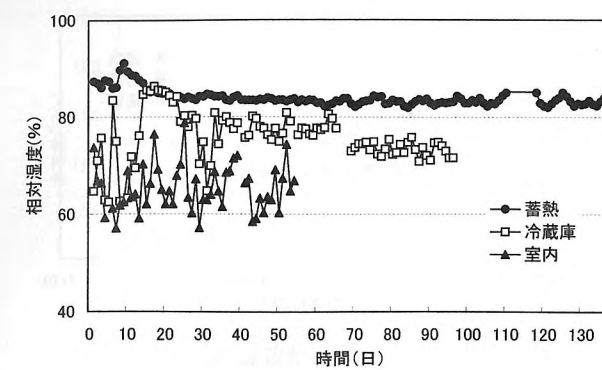


図4 貯蔵中の日平均湿度

Fig. 4 Daily mean value of storage humidity

度の高い蓄熱システムの方がやや小さい結果となった。

日平均相対湿度の変化を図4に示す。貯蔵中の相対湿度は蓄熱システムが約85%で最も高い値を示し、変動も少なかった。冷蔵庫は蓄熱システムより10%程低い値を示し、変動が見られた。これは、蓄熱システムが約1 $^{\circ}$ Cの冷水を利用した冷房であるのに対して、冷蔵庫が冷凍機で冷房するため冷媒蒸発器における除湿作用が大きく影響したものと考えられる。相対湿度の振幅は、1日の測定値の標準偏差を貯蔵期間で平均すると、蓄熱システムで3.3%、冷蔵庫で7.0%であった。室内貯蔵区の相対湿度は最も低く、約65%で推移した。

果実からの蒸散量は果実表面と大気間の水蒸気圧差に依存する。果実表面の水蒸気圧を貯蔵温度における飽和水蒸気圧の98%とし、貯蔵温度及び湿度から大気の水蒸気圧を求め、水蒸気圧差を計算することができる(Hosoda, 1994)。日平均温度と相対湿度より求めた果実表面と大気間の水蒸気圧差は、室内貯蔵区で最も大きく、約400から670Paへ増加した。蓄熱システムと冷蔵庫では、蓄熱システムの方が約80Pa小さい結果となった。貯蔵中の試料周辺における気流速は、蓄熱システムにおいて約0.5m/s、冷蔵庫において約0.6m/sで、冷蔵庫の方がやや大きかった。しかし、田中ら(Tanaka, et al., 1998)によれば、0.5m/s以上の気流速では蒸散量は大きく変化せず、ナシやリンゴなど果皮抵抗の大きな果実ほどこの傾向が強いので、上記の気流速の差による蒸散量への影響はなかったものと考えられる。

青果物からの蒸散は収穫後の品質に大きな影響を及ぼし、5%の質量減少によって軟化、光沢の消失、しわの出現など商品としての品質が著しく損なわれる(Tarutani and Kitagawa, 1999)。鮮度保持及び貯蔵時の高湿度条件は蒸散量の大きい青果物の品質保持にとって極めて有効で(Tanaka et al., 1998, Ikeda et al., 2002)、低温高湿度貯蔵が推奨されている。小綿ら(Kowata et al., 1998, 1999a)は、北海道における冬季の寒冷な外気を利用して池に大量の水を製造し、暖候季に水の融解潜熱を利用して貯蔵庫内を冷房するアイスpondシステムを開発

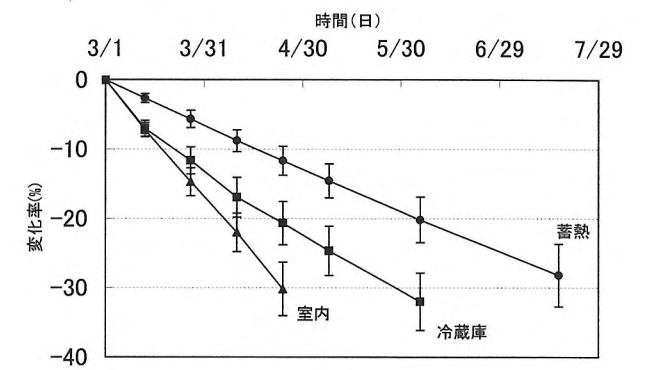


図5 貯蔵中の伊予柑の質量変化率(階級L, 平均値)

Fig. 5 Changing rate of sample's mass in the storage period

し、180tのバレイショを収容できる実規模システムを設計・建設した。このアイスpondシステムの貯蔵温度は2 $^{\circ}$ C、湿度は約93%で、本蓄熱システムよりさらに低温高湿度条件が維持され、長期に渉るバレイショの品質保持効果が実証されている(Kowata et al., 1999b, 1999c)。一方、田中(Tanaka, 2000)は老化ホルモンであるエチレンの生合成において、従来の遺伝子を介した制御系とは別の制御系が存在することを示し、青果物からの水損失によるシグナルがこの制御系を励起する可能性を示唆した。これより、水シグナルによるエチレン生成を抑制するための低温高湿度貯蔵など、新たな高品質貯蔵・流通システムの可能性を示した。また、貯蔵庫の壁面をブラインで冷却する壁面冷却式冷蔵庫の性能や低温高湿度貯蔵による顕著な品質保持効果が示されているが(Tanaka, et al., 1998, Shiina, 1999)、本研究における水蓄熱冷却式貯蔵庫は、これらの例に見られるような低温高湿度貯蔵を実現する可能性を有している。

(2) 質量、体積、見かけ密度

貯蔵中の質量変化については温州ミカンでの報告があり(Murata, 1971, Kubo and Haginuma, 1980, Izumi et al., 1990)、低湿度条件の貯蔵によって質量減少は大きくなる。本実験においても同様な結果が得られた。階級Lの試料における質量変化率(実験開始時の質量に対する変化量の割合, %)の平均値を、標準偏差とともに図5に示す。果実からの蒸散によって各試験区ともほぼ直線的に質量が減少した。室内貯蔵区における品質有効期限である貯蔵開始後55日において、質量変化率は蓄熱システムで-11.7%、冷蔵庫で-20.7%、室内貯蔵区で-30.2%であり、冷蔵庫、室内に比べて蓄熱システムにおける質量減少が明らかに少ない結果となった。なお、実験に使用した階級Lの試料の実験開始時における平均質量は228gである。階級2Lにおいても同様な傾向にあり、蓄熱システムにおける質量減少が顕著に少なかった。これら各試験区における質量変化率の違いは、水蒸気圧差の差異によるものと考えられ、蓄熱システムにおける冷水

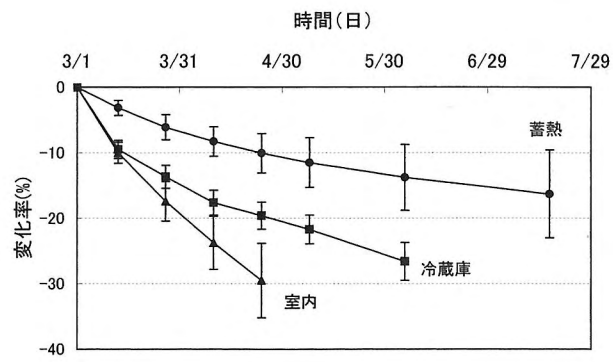


図6 貯蔵中の伊予柑の体積変化率(階級L, 平均値)
Fig. 6 Changing rate of sample's volume in the storage period

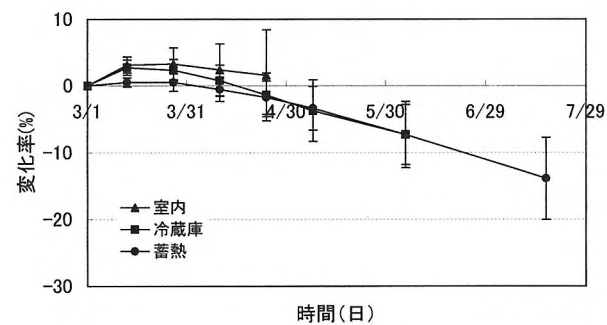


図7 貯蔵中の伊予柑の見かけ密度の変化率(階級L, 平均値)
Fig. 7 Changing rate of sample's density in the storage period

による熱交換冷房が、従来の冷凍機冷房に比べ果実の質量減少を抑制するのに効果的であることを示している。

階級Lの試料における体積変化率(実験開始時の体積に対する変化量の割合, %)の平均値を、標準偏差とともに図6に示す。貯蔵期間の進行に伴い体積も顕著に減少した。貯蔵開始後55日における体積変化率は、蓄熱システムが-10.1、冷蔵庫が-19.6、室内貯蔵区が-29.5%で、蓄熱システムにおける体積減少が明らかに少ない結果となった。階級Lの試料の実験開始時における平均体積は0.000296 m³である。階級2Lにおいても同様な傾向にあり、蓄熱システムにおける体積変化が明らかに少ない結果が得られた。これら各試験区にみられる体積変化率の相違も、水蒸気圧差の差異によるものと思われ、高湿度によって果実からの蒸散を抑制することが体積減少をも抑制するものと考えられる。

質量と体積の値から計算した果実1個当りの見かけ密度の変化率(階級L, 平均値)を図7に示す。見かけ密度は、一旦増加した後、減少する傾向を示した。これは、当初は体積減少が質量減少を上回り、一定期間を過ぎると質量減少の方が体積減少を上回るために生じた結果であると考えられる。久保ら(Kubo and Haginuma, 1980)は温州ミカンの低温貯蔵140日後の果実比重の変

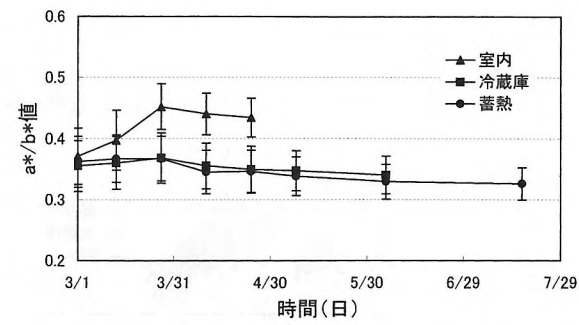


図8 伊予柑の色彩変化(階級L, 赤道部, 平均値)
Fig. 8 Change of surface color

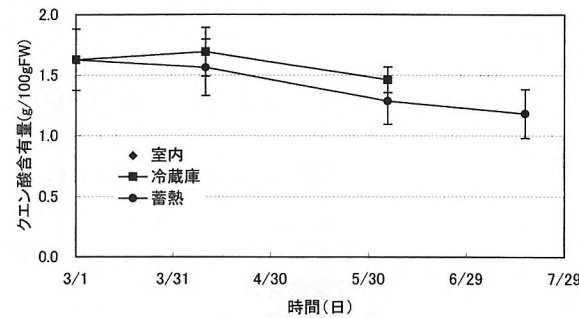


図9 クエン酸含有量の変化(平均値)
Fig. 9 Change of citric acid content

化について、減少することを示し、また高湿度の方が低湿度より減少率が大きいとしている。これは、低湿度区の質量減少が高湿度を上回るものの、低湿度区における体積減少が高湿度よりも著しいために生じたものと考えられるが、本実験においても階級2Lにおいて同様な傾向が認められた。なお、実験開始時における階級Lの平均見かけ密度は770 kg/m³である。

(3) 色彩

図8に階級Lの試料における赤道部の色彩値(a*/b*)の平均値を、標準偏差とともに示す。果頂部においてもほぼ同様な結果が得られた。室内貯蔵区が明らかに異なる変化を示したが、これはa*値の変化によるものである。蓄熱システムと冷蔵庫では大きな変化はなく、両者の間の差異も認められなかった。泉ら(Izumi et al., 1990)による温州ミカンにおける110日間の貯蔵結果では、5℃貯蔵ではa*/b*値がわずかに増加するものの15℃の方が増加が著しい結果となっている。色彩の場合は温度の影響が大きく、ある程度の低温に維持しておけば大きく変化しないものと予想され、貯蔵環境の湿度の違いによる差異は現れにくいものと考えられる。また、階級2Lにおいても同様な傾向が認められた。

(4) 含有成分

階級2L, L, Mを合わせた試料におけるクエン酸含有量の平均値の変化を図9に示す。温州ミカンにおけるクエン酸あるいは遊離酸の含有量は貯蔵期間中に減少する

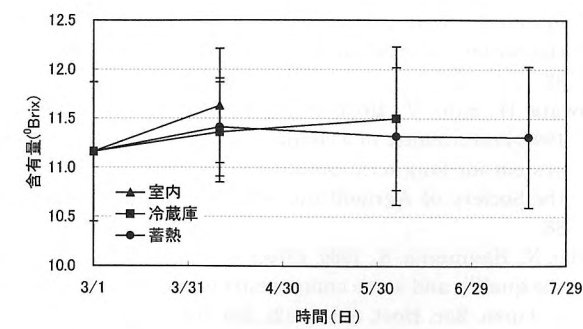


図10 糖含有量の変化(平均値)
Fig. 10 Change of sugar content

とされているが(Murata, 1971, 1977, Kubo and Haginuma, 1980, Izumi et al., 1990), 本実験においてもクエン酸は減少する傾向を示した。しかしながら、蓄熱システム、冷蔵庫、室内において明確な差異は認められなかった。

糖含有量の平均値の変化を図10に示す。温州ミカンの例(Murata, 1971, Izumi et al., 1990)と同様、貯蔵期間中における大きな変化は認められなかった。

含有成分は果実の呼吸作用によって消費されるが、蒸散作用によっては濃縮されるものと予想される。今回の結果はこれらの生理作用が総合して生じたものと考えられるが、庫内湿度の違いによる影響は少ないものと思われる。

3. 氷蓄熱冷却式貯蔵システムにおける貯蔵庫と氷蓄熱槽の伝導熱負荷

貯蔵期間中の1日当り伝導熱負荷の変化を図11に示す。気温の上昇に伴って貯蔵庫では約13 MJ、氷蓄熱槽では約7 MJまで増加した。また、氷蓄熱槽の伝導熱負荷は大きく、貯蔵期間を平均すると貯蔵庫の伝導熱負荷の63%に相当した。しかし、氷蓄熱槽の断熱材の厚さを2倍(70 mm)に増加した場合の計算結果によれば、この値は33%に減少した。これらの結果は、断熱性の向上により氷蓄熱槽の伝導熱負荷を減少させることができるが、蓄熱システムにおいては冷凍機が蓄熱槽の負荷をも負担するため、同一条件の貯蔵庫を冷凍機で冷房する場合に比べ消費電力の絶対量が増加することを示している。格安な夜間の電力料金によれば、蓄熱システムの方が稼働時の経済性において有利になることも考えられるが、システム稼働時の経済性をさらに向上するには氷蓄熱槽の熱効率を可能な限り向上させることが今後の課題である。すなわち、伝熱面積を最小化する、断熱性を許容される設備コストの範囲内で最大化する、また氷蓄熱槽を貯蔵庫の中に設置して熱負荷の大幅な低減を計るなどの対策が必要になる。

IV 摘要

農業関連分野における蓄熱空調技術の普及を考慮し

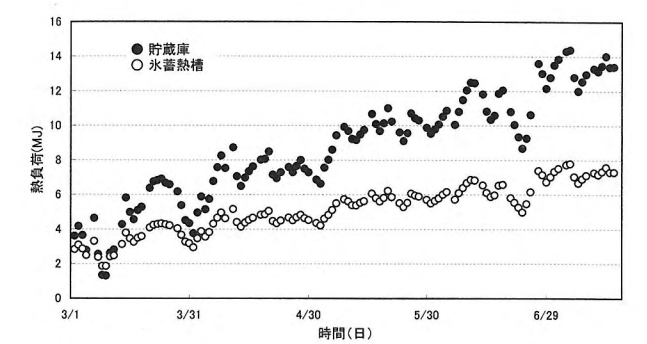


図11 氷蓄熱冷却式貯蔵システムにおける貯蔵庫と氷蓄熱槽の一日当り伝導熱負荷
Fig. 11 Daily heat load by thermal conduction on the storage room and the ice storage tank

て、青果物の鮮度保持及び貯蔵を目的とした氷蓄熱貯蔵システムの開発を目指している。本研究では冷凍機、氷蓄熱槽、冷水ポンプ、熱交換器、貯蔵庫より構成されるシステムを導入し、伊予柑を利用した貯蔵試験を行って、従来の冷凍機冷房による貯蔵方式と比較した場合の蓄熱システムの貯蔵特性について検討した。また、貯蔵期間中の貯蔵庫と氷蓄熱槽における熱負荷の分析を行い、システム稼働時の経済性をさらに向上させるための課題について考察した。

- 1) 5℃貯蔵による期間中の貯蔵庫内の日平均相対湿度は、約1℃の冷水を利用した蓄熱システムで冷凍機冷房によるものより約10%高く、変動も少なかった。その結果、果実表面と大気の水蒸気圧差は約80 Pa 小さいものとなり、蓄熱システムによる冷水を利用した熱交換冷房が低温高湿度貯蔵を実現できる可能性が示された。
- 2) 貯蔵期間中の果実の質量減少は、高湿度環境を維持した蓄熱システムの方が冷凍機冷房より明らかに少なく、水分蒸散の違いによるものと考えられた。
- 3) 体積減少も蓄熱システムで冷凍機冷房より明らかに少なく、高湿度環境によって果実からの蒸散を抑制することが体積減少をも抑制することが分かった。
- 4) 果実の見かけ密度、果皮の色彩、クエン酸および糖含有量においては、低湿度条件における見かけ密度の値が高湿度のものより大きくなる傾向が示されたものの、冷凍機冷房と蓄熱システムにおいて顕著な差異は認められず、これらの指標では貯蔵環境の湿度の違いによる影響は現れにくいものと考えられた。
- 5) 氷蓄熱冷却式貯蔵システムにおける氷蓄熱槽の伝導熱負荷は、貯蔵期間を平均すると貯蔵庫の63%に相当した。システム稼働時の経済性をさらに向上させるには氷蓄熱槽への対策が今後の課題で、伝熱面積の最小化や断熱性の向上、また氷蓄熱槽を貯蔵庫の中に設置するなどの対策が必要である。

References

- Editorial staff, 1999. Prevention of weight loss and long term storage of loquat using the wet air cooling system (in Japanese). *Fresh Food System*, 28(8), 10-13.
- Hikida, Y., Abe, T., 2001. Fundamental characteristics and estimation of cooling performance of the ice storage refrigeration system for fresh produce (in Japanese). *Kansai Branch Report of JSAM*, 89, 138-141.
- Hosoda, H., 1994. Various factors affecting postharvest quality of vegetables (in Japanese). *Shokuryo—food science and technology—National Food Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan*, 32, 83-108.
- Izumi, H., Ito, T., Yoshida, Y., 1990. Changes in fruit quality of Satsuma mandarin during storage, after harvest from exterior and interior canopy of trees. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 58(4), 885-893.
- Ijiri, T., 1994. Pre-cooling and storage of fresh produce (in Japanese). *Shokuryo—food science and technology—National Food Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan*, 32, 61-64.
- Inoue U., 1996. *Air Conditioning Handbook*. Maruzen Co., Tokyo, 26-30.
- Ikeda, H., Ishii, T., Ibaraki, T., Ohta, H., 2002. Effects of relative humidity and conditions of shipping containers on quality of eggplants during storage. *J. Japan. Soc. Food Sci. Tech.*, 49(7), 462-467.
- Kobayashi, K., 1996. Thermal storage-type vacuum cooling system for vegetables (in Japanese). *Fresh Food System*, 25(1), 31-37.
- Kowata, H., Sato, Y., Miyama, K., 1998. A design of a commercial ice pond refrigeration system for long-term potato storage. *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, 29(3), 151-158.
- Kowata, H., Sato, Y., Hoshihara, S., 1999. Performance of a commercial ice pond refrigeration system for long-term potato storage (Part 1). *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, 29(4), 231-238.
- Kowata, H., Sato, Y., Hoshihara, S., Kageyama, S., Sugiyoshi, K., 1999. Performance of a commercial ice pond refrigeration system for long-term potato storage (Part 2). *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, 30(1), 77-82.
- Kowata, H., Sato, Y., Hoshihara, S., Taraba, T., Yasumura, T., 1999. Performance of a commercial ice pond refrigeration system for long-term potato storage (Part 3). *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, 30(1), 83-88.
- Kubo, N., Haginuma, S., 1980. Effect of storage conditions on the quality and some components of Satsuma Mandarin. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 49(2), 260-268.
- Murata, T., 1971. Studies on the postharvest physiology and storage of Citrus fruits (Part 2). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 40(3), 280-286.
- Murata, T., 1977. Studies on the postharvest physiology and storage of Citrus fruit (Part 8). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 46(3), 375-379.
- Nakano, K., Hu, W., Yasunaga, E., Maezawa, S., Akimoto, K., 1999. Respiratory characteristics of tomato fruits under unsteady gas conditions. *Journal of JSAM*, 61(1), 107-113.
- Ogino, A., 2000. Propagation of thermal storage-type air conditioning systems. *Refrigeration*, 870, 44-49.
- Shiina, T., 1999. Long term storage of pear 'Nansui' using a jacketed cold storage system (in Japanese). *Fresh Food System*, 28(4), 49-52.
- Tanaka, S., Takeda, H., Adachi, T., Tuchiya, T., 1989. *Architectural Environment Engineering (in Japanese)*. Inoue Shoin Co., Tokyo, 161-165.
- The Japan Society of Thermophysical Properties, 1990. *Thermophysical Properties Handbook*. Yokendo Co., Tokyo, 238.
- Tanaka, K., Asakura, T., Tanimura, Y., 1998. Development of storage system under low temperature and high humidity condition. *Refrigeration*, 843, 58-63.
- Tanaka, K., 2000. Postharvest physiology of fruits and low temperature and high humidity storage. *Food Preservation Science*, 26(3), 167-172.
- Tarutani, T., Kitagawa, H., 1999. *Distribution, Storage and Processing of Horticultural Produce (in Japanese)*. Yokendo Co., Tokyo, 38-42.

(原稿受理: 2004年9月9日・質問期限: 2005年11月30日)