



日本冷凍空調学会賞 技術賞

## 二次冷媒式冷却システムによる高鮮度冷蔵庫

High Freshness Refrigerator by Secondary Refrigerant Cooling System

### 1. はじめに

近年の世帯構成の変化やライフスタイルの多様化などにより、野菜の用途別需要は加工・業務用比率が50%以上に増加しており、家庭用需要よりも多くなっている。加工・業務用の原料野菜に求められる特性としては「定時」「定量」「定価格」「定品質」があり、低温貯蔵で鮮度を維持しながら、安定的に原料を供給することが重要となっている。そのような背景の中で、青果物の鮮度を一定期間維持する冷却技術が求められている。

一方、食糧資源の有効活用および地球温暖化ガス削減の観点では、食品ロス（本来食べられるにも関わらず廃棄されている食品）の発生が世界的な問題となっている。国内においては、年間600万ton以上の食品ロスが発生しており、コールドチェーン全体での食品ロス削減に対する積極的な取り組みが求められている。現状では、各食品関連事業者において様々な対応が行われているが、青果物の鮮度を一定期間維持する冷却技術は、食品ロスの削減にも大きく貢献できると考えられる。

本稿では、青果物の鮮度維持を目的として開発した二次冷媒式冷却システムによる長期保管用冷蔵庫（以下、高鮮度冷蔵庫）についての内容を紹介する。

### 2. 高鮮度冷蔵庫の概要

一般的に、収穫後の青果物の鮮度維持に対しては、低温高湿度の貯蔵環境が有効である。低温貯蔵で青果物の呼吸劣化を抑制するとともに、高湿度に維持することで青果物からの水分蒸散を防止することが可能となる。しかしながら、一般的な直膨式冷却システムの冷蔵庫（以下、直膨式冷蔵庫）では、取分け、デフロストのタイミングで庫内温湿度が大きく変動する。そのため、低温高湿度環境を安定的に長期間維持することは非常に難しく、貯蔵中の品質劣化によって一定量の食品ロスが発生する。

一方、二次冷媒式冷却システムにおいては、二次冷媒の搬送温度を安定化させることにより、低温高湿度の環境を比較的維持しやすいという特徴を有しており、青果物の鮮度維持に対して非常に有効であると考えられる。また、高鮮度冷蔵庫では、デフロストにヒータを使用せず、冷蔵庫での負荷熱量を利用して循環二次冷媒の温度



細野隼章\*  
Toshiaki HOSONO



中澤秀俊\*  
Hidetoshi NAKAZAWA

を0℃以上に上昇させ、冷却器コイルの内部から表面を加温しながら着霜を除去する方式を採用した。循環二次冷媒温度は数分を掛けて緩やかに上昇するため、デフロスト中に庫内温湿度がまったく変動しないところに高鮮度冷蔵庫の独創性がある。

ただし、冷却器への霜付きの程度が酷い運転状態では、1回当たりのデフロスト時間が長くなり、庫内温湿度変動に影響を与える。冷却器への着霜の程度は二次冷媒の供給温度に依存しており、ある供給温度を境に着霜の程度が大きく変化することがわかっている。そのため、冷却器への着霜が軽度であり、デフロスト時間を極力短縮することが可能な二次冷媒の供給温度で冷却器設計を行った。

図1に高鮮度冷蔵庫（床面積500m<sup>2</sup>、天井高7m）の上部（天井部付近の2点）および下部（床面から1.5mH付近の2点）における任意計測点の温湿度を示す。冷蔵

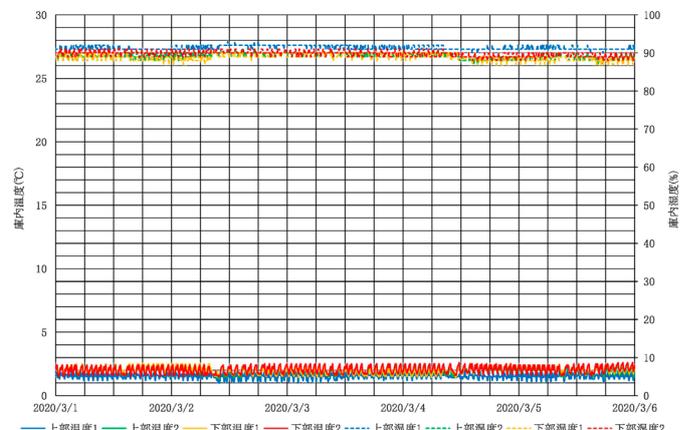


図1 高鮮度冷蔵庫の冷却環境

\* (株)ヤマト  
Yamato Inc.  
原稿受理 2021年2月15日



図2 3ヶ月間貯蔵したニンジン

図3 2ヶ月間貯蔵したキャベツ

図4 CO<sub>2</sub>蓄熱ユニット

庫内は庫内温度  $2 \pm 1^\circ\text{C}$ 、庫内湿度  $90 \pm 5\%$  ではほぼ斑が無く、安定した貯蔵環境であり、青果物の鮮度維持を目的とした長期保管に最適であると考えられる。

### 3. 高鮮度冷蔵庫の有効性検証

一般的な直膨式冷蔵庫との比較により、青果物の鮮度維持における高鮮度冷蔵庫の有効性について検証を行った。

青果物の鮮度維持に関する主要な貯蔵因子としては、温度、湿度、空気流速、ガス環境（酸素、二酸化炭素、エチレン）などが挙げられる。本検証では、高鮮度冷蔵庫の安定した低温環境の効果を検証すべく、供試品はフィルム包装として、湿度、空気流速およびガス環境の影響は統一化した。供試品は加工・業務用の原料野菜として需要が高いニンジン、キャベツを採用した。

#### 3.1 ニンジンの検証結果

図2に直膨式冷蔵庫と高鮮度冷蔵庫に3ヶ月間貯蔵したニンジンを示す。

ニンジンなどの根菜類においては、収穫されると休眠期間に入り、生長が一時的に休止する。その後、時間の経過とともに休眠から覚醒し、萌芽および発根が生じる。これにより、変色や萎凋などの外観上の劣化が生じるとともに、糖質や栄養成分が失われて風味が低下し、商品価値を著しく低下させる。そのため、収穫後の鮮度維持においては、萌芽および発根の発生を抑制することが非常に重要である。供試品の萌芽および発根の発生状況については、直膨式冷蔵庫と高鮮度冷蔵庫で明確な差異が確認された。

直膨式冷蔵庫においては、貯蔵開始後1ヶ月程度で萌芽、1.5ヶ月程度で発根が発生し始め、その後は著しい発生率の増加と貯蔵期間中の継続的な生長を確認した。

一方、高鮮度冷蔵庫においては、貯蔵開始後1ヶ月程度で萌芽、2.5ヶ月程度で発根が発生し始め、その後は萌芽および発根の発生率が著しく増加した。ただし、直膨式冷蔵庫よりも発生率は常に低く推移し、発生した芽および根の生長が著しく抑制されることも確認した。

本検証においては、供試品をフィルム包装することにより、温度以外の貯蔵条件は統一化した。そのため、サ

ンプルの萌芽および発根発生の抑制は、高鮮度冷蔵庫の安定した低温環境の効果であると推測される。

#### 3.2 キャベツの検証結果

図3に直膨式冷蔵庫と高鮮度冷蔵庫に2ヶ月間貯蔵したキャベツを示す。貯蔵開始から1ヶ月程度では、両冷蔵庫における供試品の表面状態に大きな変化は確認されなかった。

貯蔵開始から2ヶ月程度経過した時点では、高鮮度冷蔵庫では、表層の葉が多少黄色く変色した状態が確認されたものの、ほぼ貯蔵開始時の状態を維持していた。一方、直膨式冷蔵庫では、表層の葉の一部が黄色く変色、腐敗した状態が多く確認された。変色、腐敗したのは表層の数枚のみであり、除去することで正常な状態のキャベツが得られたが、白く変色した状態であった。

ニンジンと同様に、供試品をフィルム包装とすることで、温度以外の貯蔵条件は統一化したため、表層の葉の変色、腐敗の抑制は高鮮度冷蔵庫の安定した低温環境の効果であると推測される。

### 4. 自然冷媒への発展性

近年の地球温暖化問題を背景とした脱フロンに向けての二次冷媒式冷却システムとして、CO<sub>2</sub>冷凍機による蓄熱ユニットを開発した(図4)。本蓄熱ユニットは冷蔵ショーケース、ウォークイン冷蔵庫の冷却およびデマンドレスポンス用途として、(株)ローソンの館林木戸町店(群馬県館林市)でご採用頂いた。冷蔵ショーケースおよびウォークイン冷蔵庫の温度管理においては、デフロスト時の温度変動はまったく無く、年間を通して管理温度  $\pm 1^\circ\text{C}$  で安定した運転を維持している。

### 5. おわりに

本稿での検証内容は、高鮮度冷蔵庫をご採用頂いた(株)スギヤマ様(埼玉県日高市)のご協力により、実施したものである。ここに深く謝意を表す。

今後もコールドチェーンでの食品ロスに関する課題解決に取り組むとともに、脱フロンなどによる地球温暖化問題の解決にも貢献すべく、技術開発を進めていきたい。