

学位論文審査の結果の要旨

氏名	Md. Parvez Islam
審査委員	主査 森本 哲夫 副査 羽藤 堅治 副査 河野 俊夫 副査 奥田 延幸 副査 森 牧人

論文名

Development of a zero energy cool storage system (ゼロエネルギー低温貯蔵庫の開発)

審査結果の要旨

熱帯や亜熱帯の開発途上国では、貯蔵施設が不十分なため、収穫した青果物の半分以上が腐敗等で捨てられている。一方、先進国においても、エネルギー不足の観点から、省エネタイプの貯蔵施設が望まれている。そこで申請者は、新素材および新技術を活用して、水の蒸発による気化冷却を最大限に引き出すとともに太陽熱で駆動する吸着式冷却システムを開発し、電気をほとんど使わないで冷却できるゼロエネルギー低温貯蔵庫を開発した。

まず、ベースとなる貯蔵庫を組み立てた。それは貯蔵スペース（縦70×横90×高さ50cm）、三角屋根、遮光カーテン、2つの冷却システムから成る。内・外側の壁は浸水性と通気性の優れた溶岩プレートで作り、その間には充填材（砂+天然ゼオライト）を挿入した。ここは水供給で冷却する箇所である。床も浸水性と通気性の優れた溶岩石を敷き詰めた。また、三角屋根の最上部にはアルミ製の煙突を設け自然対流を促した。2つの冷却システムにおいて、1つは壁面充填材へのドリップ水供給による気化冷却であり、もう1つは太陽熱で駆動する吸着式冷却システムであり、両者とも電気をほとんど使用しない。

水供給による気化冷却は、充填材、壁、床を水で湿らせ、自然対流もしくはソーラファンによる風で冷却する方法である。ここでは気化冷却を効率的に行うための充填材、壁、床の材質を検討した。壁および床は通気性の優れた溶岩プレートを用いて蒸発面を多くし、また壁の充填材は砂と天然ゼオライトを4:1の割合で混合し、効果的な水分の保持と拡散をはかった。本手法により、外部温度は日射量の増大に伴って直ちに上昇し約40℃に達するが、庫内温度は2時間ほど遅れて上昇し始め最大で約25℃に止まり、外部温度より約15℃低かった（晴天日）。次に、ドリップ水供給による庫内温度の応答をみると、水供給により庫内温度は2~3℃ほど低下し、これを繰り返すと、昼間の庫内温度は水供給しない場合より5~7℃低くなった（晴天日）。また、庫内の相対湿度は、水供給した方が約80%RH、しない方が約68%RHで、水供給した方が約12%RHほど高かった。これらの結果は、貯蔵青果物の鮮度保持に有効にはたらくと考えられる。

次に、知能的な最適化手法を用いて、庫内温度を最低にする水供給パターン（8ステップの水

供給 on-off パターン) を究明した。まず、2 入力 (水供給 on-off パターンと外気温) — 1 出力 (庫内温度) システムを想定し、入出力の日変化を計測した。次に、3 層のニューラルネットワークを用いて、入出力関係を同定 (学習) し、2 入力—1 出力動的モデルを構築した。モデルの次数は 60、中間層ニューロン数は 5 とし、これによって得られたモデルの推定値は実測値とかなり一致した。すなわち高精度のモデルが得られた。続いて、モデルのシミュレーションから、遺伝的アルゴリズムを用いて、庫内温度を最低にする 8 ステップの水供給 on-off パターン (最適値) を求めた。得られた最適値は $T_1=35\text{min ON}$, $T_2=55\text{min OFF}$, $T_3=35\text{min ON}$, $T_4=55\text{min OFF}$, $T_5=35\text{min ON}$, $T_6=55\text{min OFF}$, $T_7=35\text{min ON}$, $T_8=55\text{min OFF}$, $T_9=35\text{min ON}$, $T_{10}=55\text{min OFF}$, $T_{11}=35\text{min ON}$, $T_{12}=55\text{min OFF}$, $T_{13}=35\text{min ON}$, $T_{14}=55\text{min OFF}$, $T_{15}=35\text{min ON}$, $T_{16}=55\text{min OFF}$ であった。最適制御による庫内温度は、水供給無しの場合より 7.5°C 低く、連続水供給の場合より 3.9°C 低かった。これは、最適な水供給パターンにより、充填材の各粒子および溶岩プレート面の蒸発面積が最大となり、これにより気化冷却が最大になったためと考えられる。

最後に、太陽熱で駆動する吸着式冷却システムを開発した。これは電気を使用しない低コストの冷却法である。その方法は、メタノールを入れた銅容器 A と活性炭素繊維 (吸着剤) を入れた銅容器 B を銅パイプで繋いで密閉し、真空ポンプを用いて内部を低圧 (真空) にする。そうすると、容器 A ではメタノールが常温で蒸発し冷却される。このとき蒸発したメタノールを容器 B の活性炭素繊維で吸着させると、蒸発が促進され冷却能力が高まる。一方、吸着されたメタノールは、太陽熱により活性炭素繊維から脱着させ、それを水で冷やして液化し、もとの容器 A にもどす。これを繰り返すと容器 A は冷却器として働く。試作した吸着式冷却システムは太陽光集熱器 (容器 B)、蒸発器 (容器 A)、氷蓄熱部、凝縮器から成る。蒸発器は水タンクの中に設置し、その冷却作用で氷をつくる。貯蔵スペースはこの氷水で冷やす。太陽光集熱器は、銅筒に活性炭素繊維を詰め込み、メタノールガスを吸着、脱着させる。凝縮器は脱着したメタノールガスを水道水で冷やして液体に戻す。夜間はメタノールを蒸発させて冷却し氷をつくり、昼間はつくられた氷水で庫内を冷やす。同時に、太陽熱でメタノールを活性炭素繊維から脱着させる。本手法により、蒸発器での冷却は温度が -15°C まで低下し、これにより 3.5kg/日 の氷をつくることができた。また、庫内温度は、水供給がない場合約 35°C まで上昇したが、ドリップ水供給により 20.9°C まで低下し、さらに本吸着式冷却システムを適用することにより 10.1°C まで低下した。この時の相対湿度は $85\sim 90\%RH$ であった。本システムを使ってトマトを貯蔵すると、その貯蔵期間は 7 から 23 日まで延長でき、本貯蔵庫の有効性が示された。

以上より、この研究で開発したゼロエネルギー低温貯蔵庫は、電気をほとんど使用せず低コストなので、電気設備の不十分な開発途上国における低温貯蔵庫として、また先進国においても省エネタイプの貯蔵庫として役立つと思われる。

学位論文の公開審査会が平成 27 年 8 月 1 日に高知大学農学部で開催され、口頭発表とそれに対する質疑応答が行われ、続いて学位論文審査委員会を開催して本論文の内容を慎重に審査した。その結果、本論文が農学と工学の複数の学問分野にまたがる内容であることから、審査委員全員一致して、博士 (学術) の学位を授与するに値するものと判断した。