

*岩間裕樹¹, 木村賢人², 浦野慎一³, 岡田啓嗣¹, 菊池工⁴, 鮫島良次¹

(1 北大院農, 2 帯畜大, 3 (株)NTC インターナショナル, 4 (株)山本建設)

1. はじめに

農産物貯蔵庫では貯蔵に最適な低温・高湿度環境を創り出すため電気冷房機が導入されてきた。しかし近年、エネルギー価格の上昇や環境問題への対応として、省エネルギー型の農産物貯蔵庫の開発が求められている。このような背景のもと、北海道では冬期の寒冷な気象環境によってもたらされる雪や氷を夏期まで保存し、それらが持つ冷熱エネルギーを利用した農産物の低温貯蔵庫の開発が試みられている。

その一例として、氷の冷熱エネルギーを利用した農産物貯蔵庫がある。この貯蔵庫では、建設時にあらかじめ水の入った容器を施設内に設置する。冬期は、施設内で氷を製造するため、室内にある通気口を開放し、自然冷気を導入する。この方法によって搬入などの労力をかけずに夏期の冷房に利用する氷が得られるとともに、水を有効的に利用できる。ただし、冬期に製造した氷を冷房期間である夏期まで保存するため、施設の断熱性について検証する必要がある。

そこで本研究では氷冷熱利用型農産物貯蔵庫を建設し、熱収支観測を5年間行った。その結果から、壁・屋根および床の断熱性能を検証するとともに、今後同様の貯蔵庫を建設する際の指針について考察した。

2. 方法

対象施設 対象施設は2006年に北海道稚内市に建設された氷冷熱利用型農産物貯蔵庫である。形状は半円筒型、大きさは縦10m、横12m、高さ5mである。庫内には、縦、横、高さがそれぞれ1.2m、10m、0.7mの容器が水の入った状態で10個設置された。さらに、2011年には縦、横、高さが0.76m、1m、0.8mの容器を38個加えた。また、壁には断熱材としてウレタンフォーム150mmを吹き付けた。一方、床面は断熱材による断熱施工は行わなかった。その代用として、床面に粉碎したホタテの貝殻を敷き詰め、冬期にそこに散水し、製氷を行った。2008年からは床の断熱性能を增强するため、雪を13t敷き詰めた。

この貯蔵庫では、観測期間において改築と増築を1回ずつ行った。改築は、2008年に入り口の前方に2.5mの風除室を設置した。増築は2011年に貯蔵スペース拡大を目的に貯蔵コンテナ(縦5m、横11.4m、高さ2.5m、発泡ポリスチレン150mm断熱)を設置した。また、このときは半円筒型の施設は氷の製造および保存を専用に行う貯氷室として利用することになった。コンテナと貯氷室はダクトによって連結され、このダクトを通じて冷気を送風し、夏期の冷房を行った。

解析方法 本研究対象の貯蔵庫において、2007～2011年の4～10月に庫内温度、壁面温度、貯氷室内外の地温の観測を行った。また、外気温は近隣にあるアメダス観測点(声間)で観測された値を使用した。これらの観測値から貯蔵庫の熱収支および冷熱負荷について検討した。冷熱負荷量 Q (kJ d⁻¹)の内訳は以下の式で表される。

$$Q = Q_w + Q_f + Q_{nv} + Q_{fv} + Q_{FAN} \quad (1)$$

ただし、 Q_w 、 Q_f 、 Q_{nv} 、 Q_{fv} 、 Q_{FAN} はそれぞれ壁・屋根を通じた熱流入量、床を通じた熱流入量、隙間風等の自然換気による熱交換量、貯蔵室との空気循環に伴う熱交換量、ファンの発熱量(kJ d⁻¹)である。この Q と氷の潜熱吸収量が等しいとして氷の融解量を推定した。

3. 結果と考察

熱収支観測結果 図1、2はそれぞれ、2007～2011年の冷熱負荷量の内訳と推定した氷残存量の推移を示したものである。図1に示すように、冷熱負荷量は Q_w 、 Q_f の割合が大きかった。その理由として、 Q_w は表面積が大きく、それによってより多くの熱流入があったためである。一方、 Q_f は床面に断熱材を施用していないためである。ただし、氷の融解潜熱により床から直接庫内へ流入する熱を抑えたため、庫内温度が低温に維持された。したがって、床面に氷および雪を敷き詰める効果は大きかったと考えられる。2007年の冷熱負荷量の割合の中で、自然換気による熱交換量 Q_{nv} が約28%であった。しかし、2008

年からは 10%以下となった。これは 2008 年から設置された風除室によるものである。2007、2008 年における自然換気量はそれぞれ、 $4933\text{m}^3\text{d}^{-1}$ 、 $930\text{m}^3\text{d}^{-1}$ であった。つまり、風除室の設置によって自然換気量を約 76%削減でき、その効果は大きかった。

図 2 に示すように、2009 年は 8 月 11 日に全ての氷が融解し、初期氷量は約 42 t と少なかった。これは暖冬の影響により十分な製氷量が得られなかったためである。2010 年では製氷量の増強が行われ、初期氷量が約 106 t となったため、期間終了時に全ての氷が融解せず、十分な資源量の確保が確認された。2011 年にはさらに氷量の増強が行われ、初期貯氷量は約 115t となった。2011 年は貯蔵室が増設され、冷熱負荷量にこの貯蔵室への冷熱供給が含まれたため、負荷量が大きくなり、9 月 19 日に全ての氷が融解したと推定された。2011 年の冷熱負荷量の内訳から、貯氷室の冷熱の約 47%が貯蔵室の冷房に用いられた。しかし、この 47%のうち実際に冷房に用いられた割合は約 27%であり、約 20%は冷熱輸送時にダクト等によって損失した。本システムの効率向上のためにこの輸送時の損失を削減することが課題として挙げられた。

床・壁の断熱性能 本貯蔵庫の断熱性能について 8 月末時点の水残存量から評価した。図 3 は床の熱抵抗値を変化させ、8 月末時点における氷残存量を算出した結果である。なお図内の縦の実線は観測を行った施設の抵抗値である。抵抗値の増加に伴い 8 月末の氷残存量の推移は増加するが、その増加率は漸減することがわかった。また、各年とも、床面の断熱材の強化による氷量の増強は約 35 t と大きかった。以上より、一般に冷熱施設の熱的設計では主として屋根や壁の断熱が考慮されるが、床の断熱にも十分に考慮する必要があることがわかった。

貯蔵室増設の効果 貯蔵室の増設を行った 2011 年では、8 月末まで貯蔵庫内の温度を低温に保つことができた。このことは、貯氷室 1 棟のみであった 2010 年以前より低温期間は短かったが、収穫された農産物は翌年の 7~8 月まで冷蔵が可能であることを示している。また、この貯蔵庫では、コンテナの増設を容易に行うことができるため、自然氷を利用した簡易型の農産物貯蔵庫としての活用が期待できる。

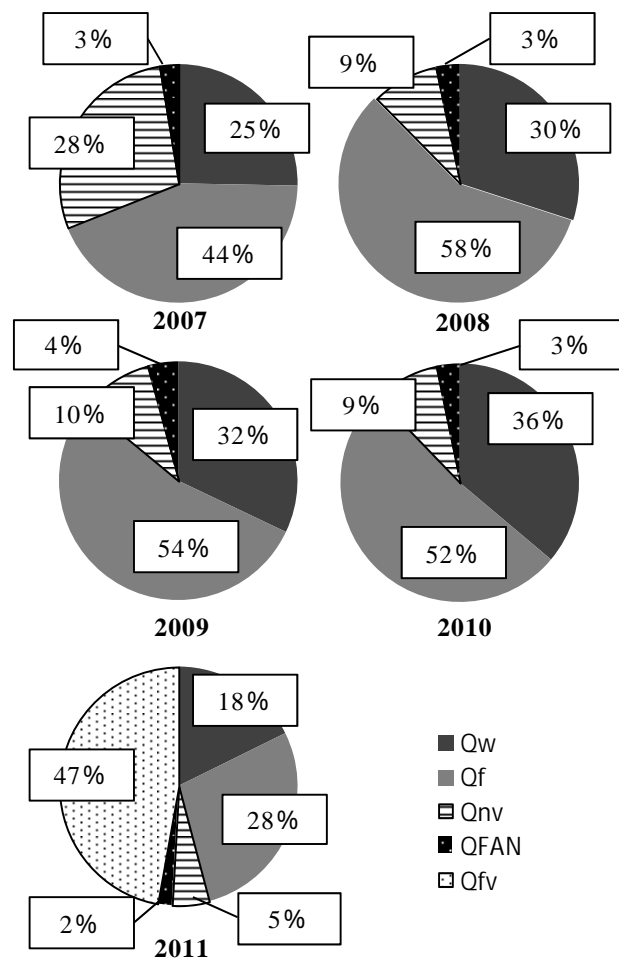


図1. 冷熱負荷の内訳

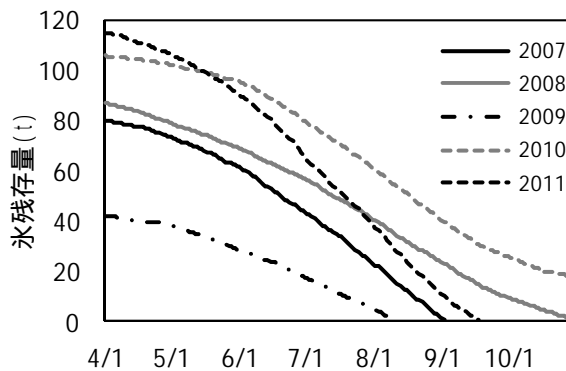


図2. 氷残存量の推移

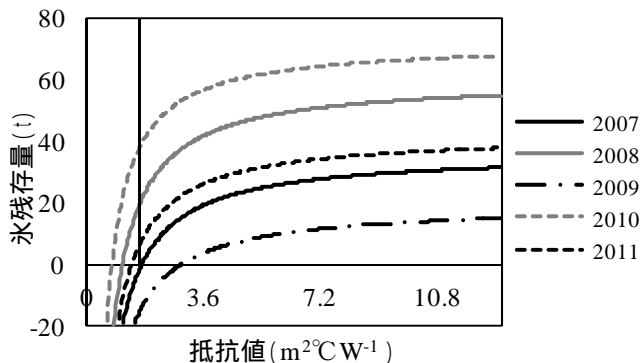


図3. 床の断熱性能に対する8月末の氷残存量