

エネルギー自立型食糧低温貯蔵輸送システム(SOLAR J-BOX)の開発

DEVELOPMENT OF COLD STORAGE AND TRANSPORT SYSTEM NAMED
"SOALR J-BOX" OPERATED ONLY BY NATURAL ENERGY

山下 俊彦* 佐伯 浩* 今村 彰秀**

Toshihiko YAMASHITA, Hiroshi SAEKI, Akihide IMAMURA

ABSTRACT; Cold storage and transport system named "Solar J-Box" is suitable for low-cost cold-storage and transport of farm products in cold regions. This system is based on a new design concept to only use cold air and sunshine as operated energy. The ice made by cold air in winter is used as a coolant and the electric fan which is only moving machine powered by photovoltaic cells. This fan is used as air circulation for heat exchanging. This system is energy saving and ecological, because it is operated only by natural energy. On the other hand, this system takes account of transport system. To use an usual container with heat insulation treatment as each unit, it is able to transport without transshipment of stocks. This paper describes the outline, field test result of system and a questionnaire result of stored farm products.

KEYWORDS; Cold storage , Transport system , Cold regions , Natural energy

1. はじめに

地球環境に関する重要な問題として温暖化とオゾン層破壊がある。CO₂等の温室効果ガスの放出による温暖化を防止するためには、省エネルギーの推進や太陽エネルギー等の化石燃料以外のクリーンなエネルギーの活用などが必要である。また成層圏オゾンの減少を避けるためには、代替フロンの開発等が必要である。

以上の観点から考えると、北海道や東北地方等の寒冷地域は食糧の低温貯蔵に適している。すなわち、厳しい寒さを豊富な自然の冷熱エネルギー源として利用すれば省エネルギーで環境にやさしい(フロン使用の冷凍機を用いないため)食糧の低温貯蔵が可能である。冷熱エネルギーの利用方法には、①冬期の低温を利用して水を氷に変換して冷熱エネルギーを貯蔵する方法、②人工凍土を作って冷熱エネルギーを貯蔵する方法、③雪あるいは雪を圧縮した氷状のものを冷熱エネルギー源として利用する方法等がある。いずれの場合も、冬の寒さを氷あるいは雪の潜熱として貯蔵している。

著者らも①の方法を用いて、1990年から91年にかけて船用コンテナを利用した移動可能な食糧低温貯蔵システム(J・BOX)の開発、苫小牧東部地域における実用規模(100ton)での馬鈴薯の貯蔵、東京への輸送実験を行い、秋に収穫した馬鈴薯を高品質のまま貯蔵、輸送できることがわかった¹⁾。

本研究では、一歩進んで周辺機器の動力源としてソーラーエネルギーを利用し、自然のエネルギーのみで稼動する環境にやさしいSOLAR・J・BOXの開発^{2) 3)}、馬鈴薯等の貯蔵実験、道内および道外各地のモニターによる貯蔵物に対してのアンケート調査を行ったのでその結果を報告する。

* ; 北海道大学工学部土木工学科 Department of Civil Engineering, Hokkaido Univ.

** ; (株)寒地技術研究所 Cold Area Engineering Corp.

2. SOLAR・J・BOXの概要

SOLAR・J・BOXは、(社)寒地港湾技術研究センター、北海道大学工学部、農林水産省北海道農業試験場、苫小牧東部開発(株)、(株)寒地技術研究所の共同研究として開発されたもので、システムの概要を図-1に示す。これは2台の海陸一貫輸送可能なコンテナの内外面に防熱を施し(長さ×幅×高さ(外寸): 約6m×2.5m×2.6m)、一方を貯蔵庫とし農産物等の貯蔵物を入れ、他方を氷庫とし氷格納容器(総容量10m³)として経済的なドラム缶を収納したものである。冬の冷気を利用して氷庫内に氷を作り、氷潜熱として冷気エネルギーを貯蔵する。10m³(約9ton)の水の潜熱は、72万Kcalに相当する。氷庫内は、常に水と氷が共存する状態にする事により一定温度に保つ。両庫間はパイプダクトで連結し、ソーラーパネルからの発生電力により作動するファンにより空気を循環させ、氷潜熱を冷熱源として農産物等を低温高湿(0~5℃、相対湿度約90%)の状態に貯蔵することができる。

このシステムの重要な特徴として、①寒地冷熱と太陽光という自然エネルギーのみを利用しているためランニングコストなしでかつエコロジカルであること、②水を冷熱源に用いる場合には、水温と貯蔵庫の温度差が小さいので除湿量が少なく、貯蔵庫を高湿度に保てるため生鮮品の貯蔵に適すること、③2つのコンテナで1セットであるため広大な用地を食糧貯蔵基地にするという面的な展開ができる一方、個々の農家に設置する点的な展開も可能であること、④電力・石油等のエネルギー供給の心配がなく場所を問わずどこにでも設置可能なこと、⑤パイプダクトを取り外せば積み替え作業なしに貯蔵物を低温高湿の理想的な状態で市場に届けられる、という5点が挙げられる。

SOLAR・J・BOXの運転方法は、以下の通りである。

1) 製氷期間

冬期に氷庫のドアを開け、冷気の導入による熱交換によってドラム缶内の水を氷に変える。この際、ドラム缶の内圧の上昇による変形を防ぐため透水性の高い塩水を作るため水の代わりに塩水を用いる。また、水の一部を凍らせずに残したままで製氷を終えてドアを閉めることが重要で、これにより氷庫内の温度を常に一定に保つことができる。

2) 暖気運転

厳冬期に貯蔵物の凍結による品質低下を防ぐために、氷庫内の相対的に暖かい空気を貯蔵庫内に送り込み、貯蔵庫内の温度がある温度以下にならないようにする。この時、貯蔵庫内からの冷たい空気のエネルギーは氷庫内の水が結氷するために使われる

3) 冷気運転

春から夏にかけて貯蔵庫の温度が上がり貯蔵物の品質低下を防ぐために、暖気運転とは逆に氷庫内の冷たい空気を貯蔵庫内に循環させる。この時、暖かい空気のエネルギーは水を融解するためのエネルギーとなる。

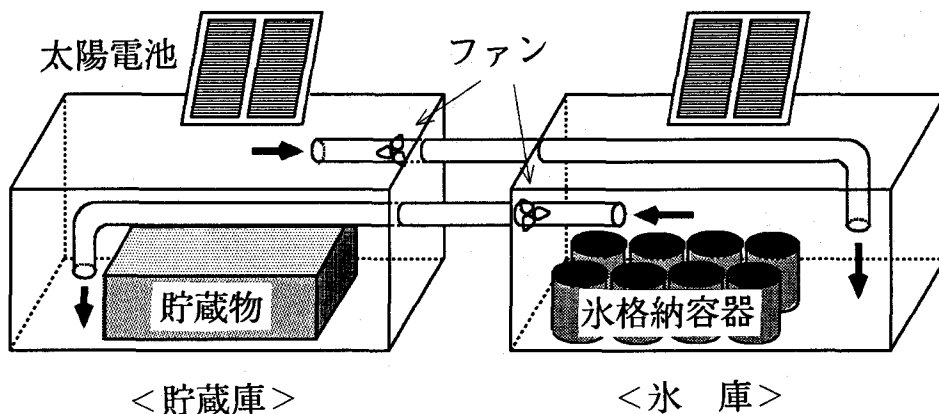


図-1 SOLAR・J・BOXの概要

図-2 に本システムの動力、制御系統図を示す。本システムの唯一の可動機器である通風ファン(DC24V, 5W, 通風量 約4m³/min, 2 台)は、太陽電池(多結晶型1.6m², 最大出力約190W, 2 台)の発電力により稼働する。ただし、雨天時や夜間もファンを稼働させる必要があるため、蓄電池(12V-60Ah, 2 台)を設けコントローラーを通してファンに電力を供給する。また貯蔵庫内には上下2ヶ所に温度センサーと温度設定スイッチを設置し、これらによりファンの発停をコントロールし貯蔵庫内を任意の温度範囲に保つことができる。

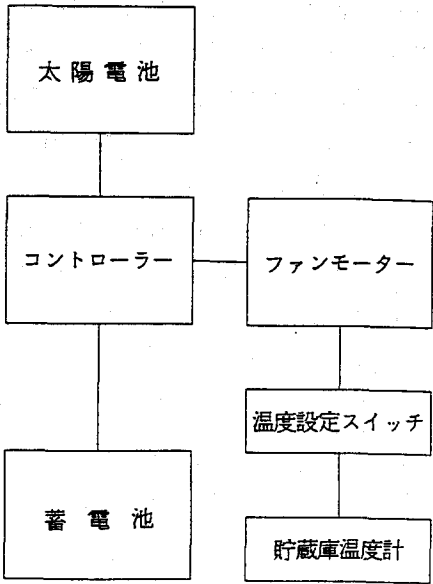


図-2 動力・制御系統図

3. 熱収支

SOLAR・J・BOXにおける各部の温度と熱収支を図-3 に示す。

以下のように記号を定義する。

Q_c : コンテナ壁を通じて入る熱量(Kcal/h)

Q_p : 外部パイプを通じて入る熱量(Kcal/h)

Q_f : ファンモーターからの発生熱量(Kcal/h)

Q_s : 貯蔵物からの発生熱量(Kcal/h)

Q_i : 氷の融解による吸収熱量(Kcal/h)

F : 循環風量(m³/h), ρ : 空気密度(kg/m³),

c : 空気比熱(Kcal/kg°C)

T_a : 相当外気温(輻射を考慮したもの)(°C)

T_s : 貯蔵庫出口温(°C)

T_i : 氷庫出口温(°C)

K, K_p : コンテナ、外部パイプの熱伝達係数(Kcal/m²h°C)

S, S_p : コンテナ、外部パイプの表面積(m²)

ここで、

$$Q_c = K S (T_a - (T_s + T_i) / 2) \quad (1)$$

$$Q_p = K_p S_p (T_a - (T_s + T_i) / 2) \approx 0 \quad (2)$$

$$\therefore S_p \approx 0$$

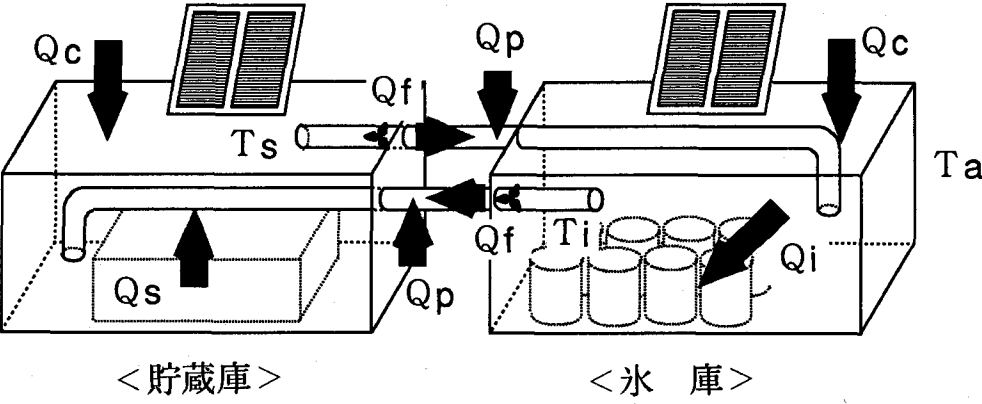


図-3 各部の温度と熱収支

貯蔵庫内での熱収支は、以下の式で示される。

$$Q_c + Q_p + Q_f + Q_s = \rho c F (T_s - T_i) \quad (3)$$

$Q_p \approx 0$ 、 $Q_f \approx 0$ とし (1) (2) 式を (3) 式に代入すると、

$$K S (T_a - (T_s + T_i) / 2) + Q_s = \rho c F (T_s - T_i) \quad (4)$$

となり、 T_s について解くと、

$$T_s = \frac{K S T_a + Q_s}{K S / 2 + \rho c F} + T_i \quad (5)$$

となり、貯蔵庫出口温度が求められる。

システム全体での熱収支については、以下の式で示される。

$$2 (Q_c + Q_p + Q_f) + Q_s = Q_i \quad (6)$$

ここで $Q_p \approx 0$ 、 $Q_f \approx 0$ とし、(1) (2) 式を (5) 式に代入すると、

$$2 K S (T_a - (T_s + T_i) / 2) + Q_s = Q_i \quad (7)$$

となり、夏場の Q_i の合計量から氷の量が求められる。

ここで ρ 、 c 、 Q_s はそれぞれ固有の値であるが、 K 、 S 、 F は設計により変更できる値である。 T_i 、 T_s はそれぞれ氷庫、貯蔵庫における空気熱交換効率によって決まる。また、 T_a の値は外気温度にどの程度ふく射の影響を見込むかの問題であり、外部防熱の有無や地域差にも相当左右される。これらの値は最終的にはある程度実験的、経験的なものをベースとせざるを得ない。

4. 貯蔵実験

長期間の貯蔵実験を1992年1月より6月までとし、北海道大学工学部、苫小牧東部開発(株)、恵庭市の農家に SOLAR・J・BOX を設置して馬鈴薯 (品種：北海コガネ、トヨシロ) を主体として、1 セットに約7tonを貯蔵した。図-4に恵庭市の場合の外気温湿度、貯蔵庫温湿度、バッテリー端子電圧、ファン負荷電流の日平均の変化を示す。今回の実験では、ファンは貯蔵庫内の温度が -1°C 以下または 3°C 以上で作動するように設定した。

1) 1月～2月上旬

暖気運転の期間である。しかし、平均外気温度は約 -7°C であるが、貯蔵庫内温度は $0 \sim 2^{\circ}\text{C}$ の範囲に納まっておりファンは一度も作動していない。外気温度がこのくらいの場合には、馬鈴薯からの発熱量と外からの冷熱の流入量がバラ

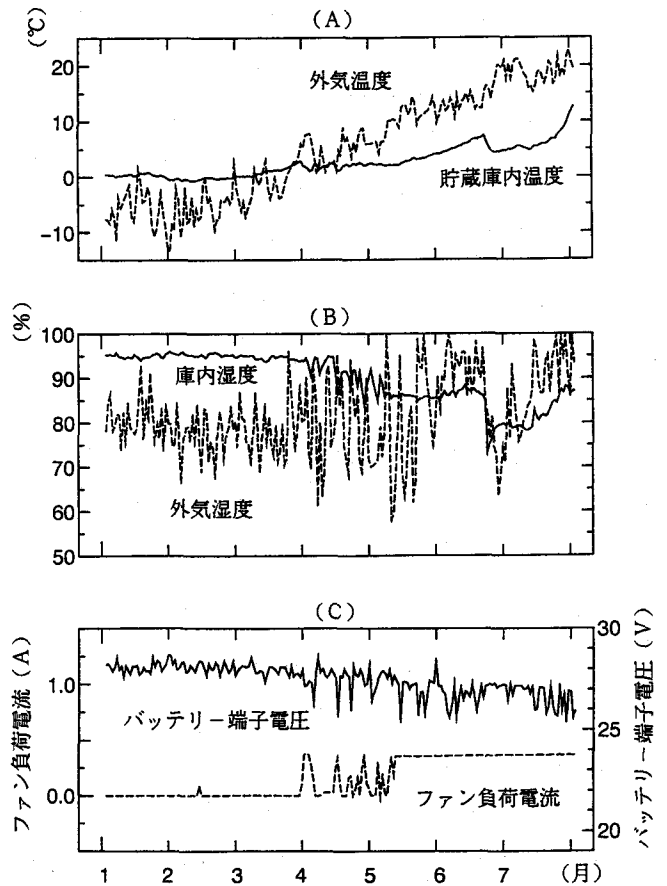


図-4 (A) 日平均温度の変化
(B) 日平均湿度の変化
(C) ファン負荷電流 および
バッテリー端子電圧の変化

ンスしていると考えられる。

2) 2月中旬～2月末日

製氷期間である。1月中と比べて外気温度の差はほとんど見られないが、貯蔵庫内温度は $-1\sim 1^{\circ}\text{C}$ と良い状態を保っている。約2週間でドラム缶中央部を除き全容量の70～80%が結氷したと思われるので、これ以降は両庫間をダクトで連結し、ドアを閉めて自動の運転状態に入った。

3) 3月～6月上旬

ファンが作動し始めたのは3月31日であり、その後5月上旬までは半日～数日の間隔で発停を繰り返している。4月20日から26日までの外気温度・貯蔵庫内の温度およびファンの発停状況の推移を図-5に示す。ファンの運転により吹き出し口より冷気が導入され、貯蔵庫内温度が 3°C 以下に保たれている様子がわかる。

5月中旬以降は日平均外気温度は急上昇し、貯蔵庫内温度も 3°C を越え、ファンは常時作動している。貯蔵庫内の温度は図-4により6月上旬までは平均で 3°C 位に、湿度は85%以上に保たれていることがわかる。さらにファン消費電流とバッテリー電圧の図により、ファンの連続運転によりバッテリーの電圧は少し下がってはいるが、当初の目標電圧24Vは保っており、今回のソーラーパネルとバッテリーで太陽エネルギーのみによるファンの稼働が可能であることがわかる。

4) 6月中旬以降

これ以降、水量が減少し貯蔵庫内の温度は上昇を続けて6月末日には 7°C を越えるまでになった。ここで水を約3ton投入した。図-4の貯蔵庫内温度が急激に低下しているのはこの理由による。このことにより、さらに1ヶ月程度の保存期間の延長ができることがわかった。

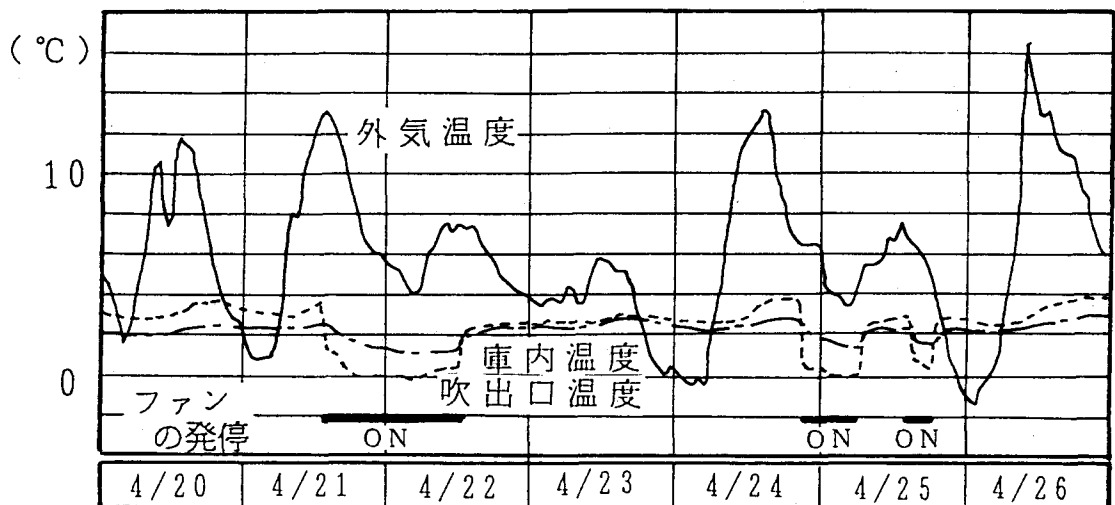


図-5 外気温度・貯蔵庫内温度の推移とファンの発停状況

5. アンケート結果

道内外のモニターによる馬鈴薯についてのアンケートは、1991年12月から1992年6月にかけて計4回行われ、発芽の様子やカビの有無など数項目にわたって回答してもらった。図-6に馬鈴薯の到着時の切断面の様子についての回答を示す。これによると、6月の馬鈴薯においても高い評価が得られていることがわかる。その他発芽やカビも最後まで全く無く、食味も非常に良好であると総合的にも高い評価を受けた。

6. 結論

寒冷地の冬期の冷気と太陽エネルギーという自然エネルギーのみで稼働する環境にやさしいSOLAR・

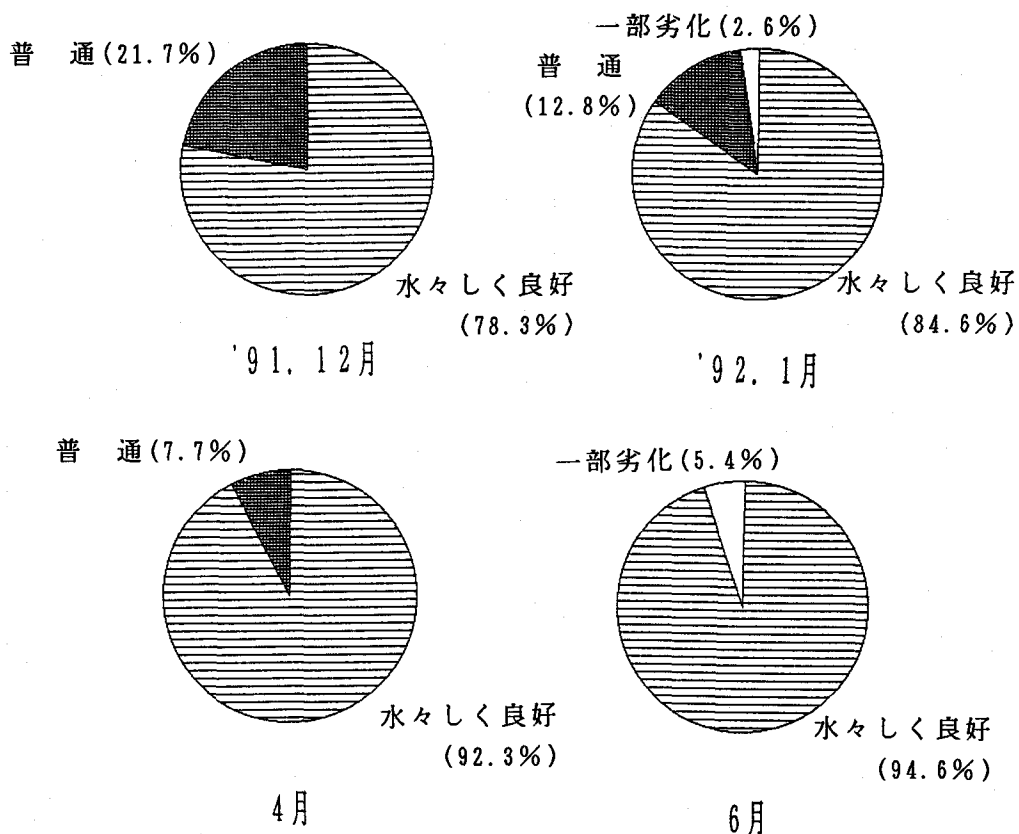


図-6 アンケート結果(馬鈴薯の切断面の様子)

J・BOXの開発と馬鈴薯等の貯蔵実験を行った。主要な結果を以下に示す。

- 1) 冷熱エネルギーの貯蔵としての製氷は、冬期の寒さで十分可能であることがわかった。ただし、具体的にどの程度結氷しているかを正確に把握する方法を開発することが今後の課題である。
- 2) 冷気循環用のファンの消費電力は太陽電池と蓄電池による供給電力を下回り、ファンは用いた太陽電池と蓄電池で十分作動が可能であることがわかった。
- 3) 貯蔵庫は、厳冬期においては温度約0℃、湿度95%以上を確保しており、春から夏にかけての運転期間では6月上旬までは温度5℃以下、湿度85%以上に制御可能である。
- 4) 貯蔵物(馬鈴薯)の品質は、アンケート結果により大半の人々が表面は乾燥していて発芽が無く、中も水々しいという極めて良好な状態であるという評価を受けた。この評価は6月まで変わることはなく、高品質での貯蔵が可能であることがわかった。

<参考文献>

- 1) 山下 俊彦・佐伯 浩・八戸 裕・大内 一之・今村 彰秀：食糧低温貯蔵輸送システム(J・BOX)の開発、第7回寒地技術シンポジウム論文集、1991
- 2) 大内 一之・今村 彰秀：自然エネルギーのみで動く冷蔵システム(ソーラー・J・BOX)の開発、日本太陽エネルギー学会論文集、1992
- 3) 山下 俊彦・佐伯 浩・高木 雄一郎・今村 彰秀：エネルギー自立型食糧低温貯蔵輸送システム(ソーラー・J・BOX)の開発、第8回寒地技術シンポジウム論文集、1992