

● (一社)日本冷凍空調設備工業連合会 奨励賞 ● 改修設備部門

# 自然冷媒CO<sub>2</sub>大型直膨ユニットを用いた 冷蔵倉庫設備改修にともなう省エネ化

設備施工者：三菱重工冷熱株式会社

設備所有者：カネフジ冷蔵株式会社

## 設備の概要

名称 カネフジ冷蔵株式会社

所在地 北海道北斗市七重浜 8 丁目14番21号

概要 建家：地上 3 階 延床面積：5,078m<sup>2</sup>

構造：RC造 用途：冷蔵倉庫

## 1. 技術開発の目的と経過

目的：1990年に函館・道南地区の食品加工・物流基地として設立された冷蔵倉庫の冷却設備老朽化更新に際し、設備規模の見直しおよび自然冷媒であるCO<sub>2</sub>冷媒冷却設備導入による省エネルギー化とCO<sub>2</sub>排出量削減を目指した。

経過：2022年4月～ 調査・提案・設計：省エネやCO<sub>2</sub>削減を実現すべく、既存設備の運転状態や稼働状況など調査を行い提案・設計し、採用された。

2023年10月～ 改修工事・試運転：既設冷却設備を稼働させながら順次設備更新を行い、2024年2月に総合試運転を実施して、お引き渡しを完了した。

2024年2月～ 運転データ取得：お引き渡し後の省エネ効果を検証するために電力量などの計測データ取得とあわせて運転状況の分析を行っている。

## 2. 設備・システムの概要

### 1) 既存設備の概要

- ・ RC造 3 階建の収容能力5,374トンの冷凍倉庫で室温-25℃の冷凍庫が各フロア 1 庫で計 3 庫配置されている。
- ・ 冷却設備はR22冷媒の直膨式 2 段圧縮サイクルを採用し、冷凍機は(株)東洋製作所製の空冷式コンデンシングユニットLTS (3 台/1 庫、計 9 台)、冷却器は(株)東洋製作所製のRTH型冷却器 (3 台/庫、計 9 台)が設置されている。除霜システムはホットガスデフロスト方式を採用している。

### 2) 改修設備の概要

- ・ 改修設備系統図を図 1 に示す。
- ・ 更新冷却設備はCO<sub>2</sub>冷媒の直膨式 2 段圧縮サイクルを採用し、冷凍機は三菱重工冷熱(株)製の80馬力空冷式コンデンシングユニットCSTS8001MF (2 台/3 庫)、冷却器は三菱重工冷熱(株)製のMCCU型冷却器 (2 台/1 庫、計 6 台)を配置し、50%のバックアップ運転を可能とした。除霜システムはヒーターデフロスト方式を採用した。

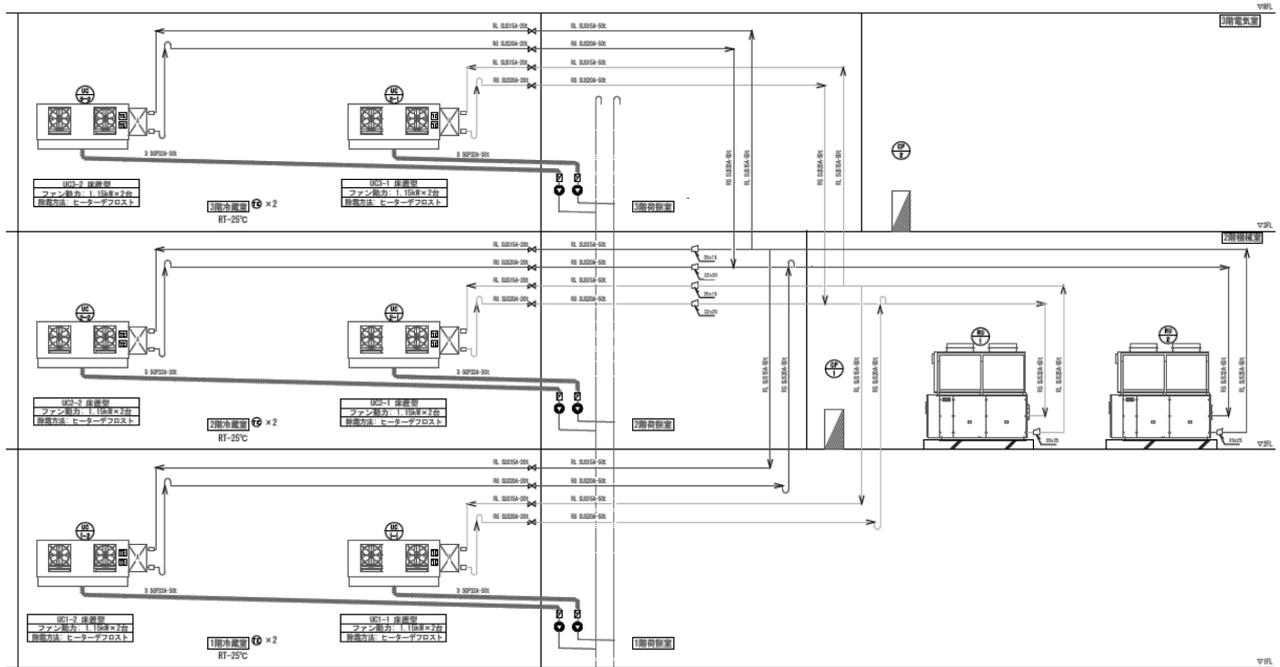


図1 改修設備系統図

### 3. 着想

一般的に冷蔵倉庫の使用電力量は「冷蔵倉庫の規模」「冷媒・設備性能」「倉庫運用」「躯体防熱性能」などのなかでも「冷蔵倉庫の規模」に大きな影響を受けることがわかっており、本設備（収容能力5,374トン）と同規模の場合、電力原単位<sup>(※)</sup>は概ね150~250kWh/ton程度となる。

しかし、更新前の設備は原単位98.7kWh/ton（以下4項にて算出）と、とても低い水準であり、単なる設備更新では電力量が増加してしまう可能性があった。さらなる省エネやCO<sub>2</sub>排出量削減など改善を盛り込んだ更新提案を行うため、自然冷媒の最新機種種の導入、設備のスリム化だけでなく様々な省エネ手法を取り入れた。その手法の一部を示す。

※電力原単位とは冷蔵倉庫の使用電力量を評価及び比較する際に用いられ、年間使用電力量を収容トン数で割ると算出される。（単位 kWh/ton/年）

#### 1) 自然冷媒機種種の採用

- ・自然冷媒であるCO<sub>2</sub>は地球温暖化係数GWP1とフロン冷媒にくらべて圧倒的に低く、単一成分でフロン冷媒のような冷媒管理義務も少ないことが挙げられる。他の自然冷媒NH<sub>3</sub>(GWP<1)と比較しても可燃性・毒性がないことから保守管理面において取扱いやすい冷媒である。

表1に主要冷媒のGWPを示す。

- ・CO<sub>2</sub>冷媒を採用したC-Puzzleシリーズは、高負荷時の冷却効率に優れたスクロール圧縮機構と、低負荷時の冷却効率に優れたロータリー圧縮機構を組み合わせた、独自のスクロータリー2段圧縮機を搭載しコンパクトかつ高効率化を実現している。また、北海道という寒冷地域性を活かすため、低外気温時に冷媒を凝縮域まで高圧を下げ、圧縮比を低減し、さらに運転効率を上昇させた80馬力クラスCSTS8001MFを採用した。室温-25℃を想定した成績係数COPは外気温32℃時COP1.22、外気温

表1 主要冷媒のGWP

冷媒番号	GWP
R22	1,760
R32	677
R404A	3,940
R410A	1,920
R448A	1,270
R463A	1,380
CO <sub>2</sub>	1
NH <sub>3</sub>	< 1



図2 external view

表2 Performance table

	OA32℃ (supercritical)		OA 5℃ (Condensed area)	
	-35℃	- 5℃	-35℃	- 5℃
Evaporation Temp.	-35℃	- 5℃	-35℃	- 5℃
Freezing Capacity (kW)	74.0	143.3	74	143.2
Power consumption (kW)	60.6	72.6	33.8	31.6
COP	1.22	1.98	2.19	4.53

5℃時COP2.19と約1.8倍効率が良くなる。

図2にCSTS8001MFの外観写真を示す。

表2に外気温32℃（超臨界）と5℃（凝縮域）における冷凍能力、電力、COPを示す。

- ・一般的に空冷式コンデンシングユニットは屋外設置型であるが、地域柄積雪や塩害を考慮し、既設と同様に屋内の機械室へ設置とした。なお、低外気温時の高効率運転を活かすべく、外壁面に外気取入れ用吸込みガラーを大きく改造し、排気もショートサーキットとならぬよう対策した。
- ・CO<sub>2</sub>冷媒を採用したMCCU型冷却器は電子膨張弁を組み込み、伝熱管に3/8Bを採用、また送風機をECファンとすることでコンパクトかつ高効率運転を両立した。除霜システムはヒーターデフロスト方式とし、且つ、省エネ制御を導入している。（後述3）項参照

また、冷気が保管品に当たって乾燥・目減りするのを防ぐため、2重天井内へ冷却器吹出空気を吹き込み冷凍庫内への冷機は風速を落とした方式を流用し、ダクト形状をコンパクトにすることで庫内のデッドスペースを減ずることが出来た。

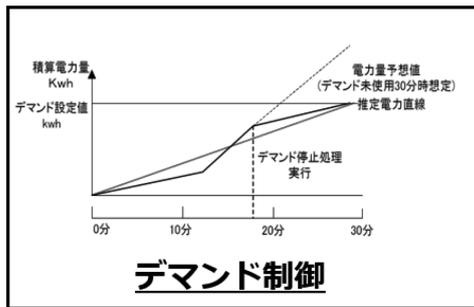
## 2) 設備のスリム化

- ・当社計算の冷却熱負荷値121.9kWに対し、既存冷却設備は冷凍機9台+冷却器9台の9系統で構成されており、冷却能力は合計189.6kWであった。倉庫運用状況を確認したところ余力を有した構成となっていることに着目し、今回の選定では既存の冷却能力測定と過去3年間の稼働時間から必要な冷却能力を算定することで冷凍機2台+冷却器6台の構成とし、冷却能力も148kWと設備動力および設備台数ともにスリム化させ、省スペース化およびランニングコスト、イニシャルコスト低減を図ることができた。

## 3) 省エネ手法

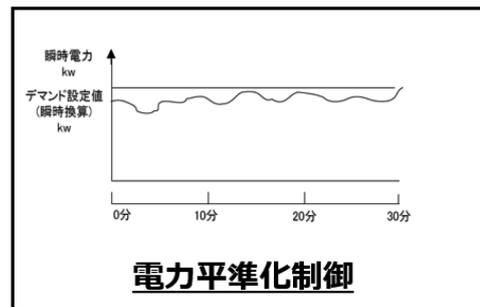
- ・電力デマンド機能を活用した設備稼働制限制御の改善・導入について検討を行った。従来の電力デマンド制御と電力平準化制御を組み合わせた新しい制御方法を採用し、冷凍機・冷却器の稼働台数および使用電力を計測し、契約電力量など目標とする値に対して冷却設備で使用出来る電力を自動計算し、稼働可能な冷凍機・冷却器台数を自動演算し、温度上昇傾向の冷却を優先する部屋に割り振る事で稼働機器を最少化し、冷凍機容量制御での過剰な増減速や冷凍機台数制御の短時間発停を防ぎ、省エネを図るとともに設備の安定稼働のシステムを実現した。

図3に制御イメージを示す。

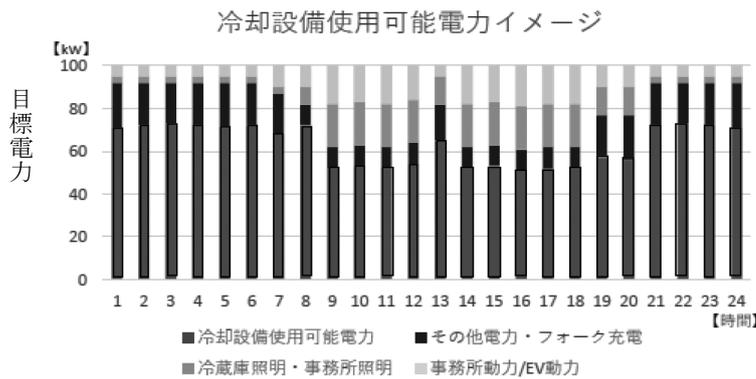


積算電力量で管理され、積算電力予想値を超過した時点でデマンド停止させる制御

+



瞬時電力量で管理され、常にデマンド設定以下に制御



デマンド時限 30 分の中でも同様に冷却設備に使用可能な電力は変化する。

図3 電力デマンド機能を活用した設備稼働制限制御のイメージ

・冷却器ヒーターデフロスト方式の省エネ制御の導入

従来のヒーターデフロスト方式は冷媒の流れ方向などに関係なく、コイルヒーターを均等に配置しており、ヒーターの通電時間はコイルバンド下部など温まりにくい場所に設置された温度サーモが一定の温度に到達したら終了していた。このため、着霜の多い場所は霜が溶けるまでに時間がかかり、着霜の少ない場所は過度に加熱され、デフロスト終了後の再冷却時に余分な電力を消費していた。

今回は冷媒の流れ方向などにより、霜の成長が部位により異なることに着目し、着霜量に応じたヒーターの配置とデフロスト終了温度センサーを複数配置し、過熱状態とさせないことでヒーター電力と再冷却電力を従来に比べ30%以上削減することができた。

図4に従来品と今回のコイル吸い込み面のサーモグラフィによる観察結果を示す。

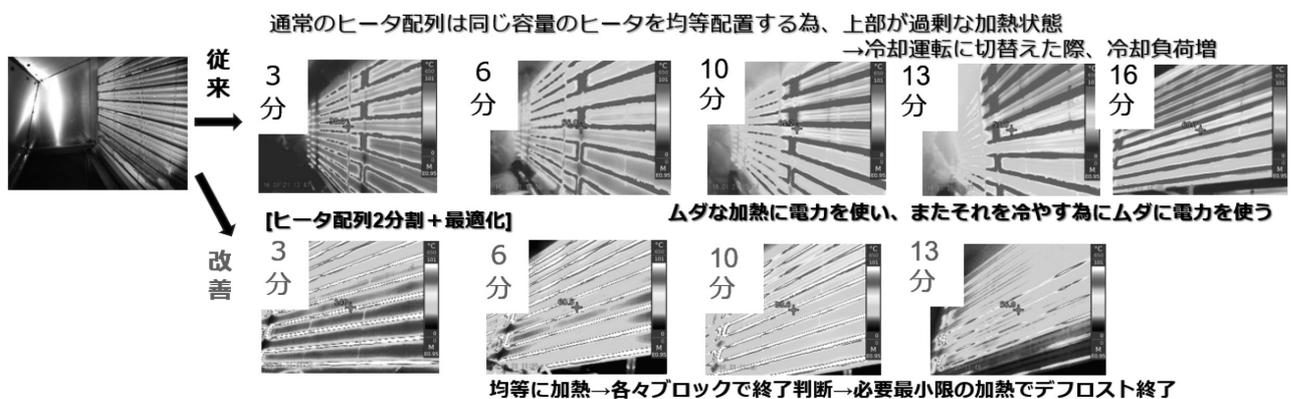


図4 従来品と省エネ制御のサーモグラフィによる観察結果

冷蔵倉庫へ侵入する空気は季節により湿度が大きく異なるため、省エネのためには時期毎に霜付状況を目視確認し、デフロスト間隔を変更することが望ましい。今回は着霜量によりデフロスト間隔を自動調整するプログラムを導入していることも省エネに寄与している。

#### 4. 効果（省エネルギー）

##### 1) 省エネルギー効果およびCO<sub>2</sub>削減効果の試算

・更新設備を稼働した2024年2月から12月の11カ月間（335日間）の電力量と同期間の既設設備電力量を比較し省エネルギー効果とCO<sub>2</sub>削減効果を試算した。

表4に各月における電力量と電力原単位を示す。

- ・更新前事業所全電力量：486,783kWh（冷却設備電力量：358,811kWh）
- ・更新後事業所全電力量：431,636kWh（冷却設備電力量：303,664kWh）
- ・電力削減量：60,160kWh/年  
 $(486,783 - 431,636 = 55,147\text{kWh}/11\text{ヶ月、1年換算として} 55,147/11\text{ヶ月} \times 12\text{ヶ月} = 60,160\text{kWh/年})$
- ・更新/既設電力量：88.7%  $(= 431,636/486,783 \times 100)$
- ・更新前原単位：照明・搬送動力・事務所等含む全電力98.7kWh/ton/年（冷却設備のみ72.7kWh/ton/年）  
 更新後原単位：照明・搬送動力・事務所等含む全電力87.6kWh/ton/年（冷却設備のみ61.6kWh/ton/年）
- ・CO<sub>2</sub>削減量：31.95ton/年  $(= 60,160 \times 0.531 (\text{kg-CO}_2/\text{kWh}) / 1000)$

上記結果より、本設備の導入により11.3%の電力量削減と31.95tonのCO<sub>2</sub>排出量削減効果を得たことが確認できた。

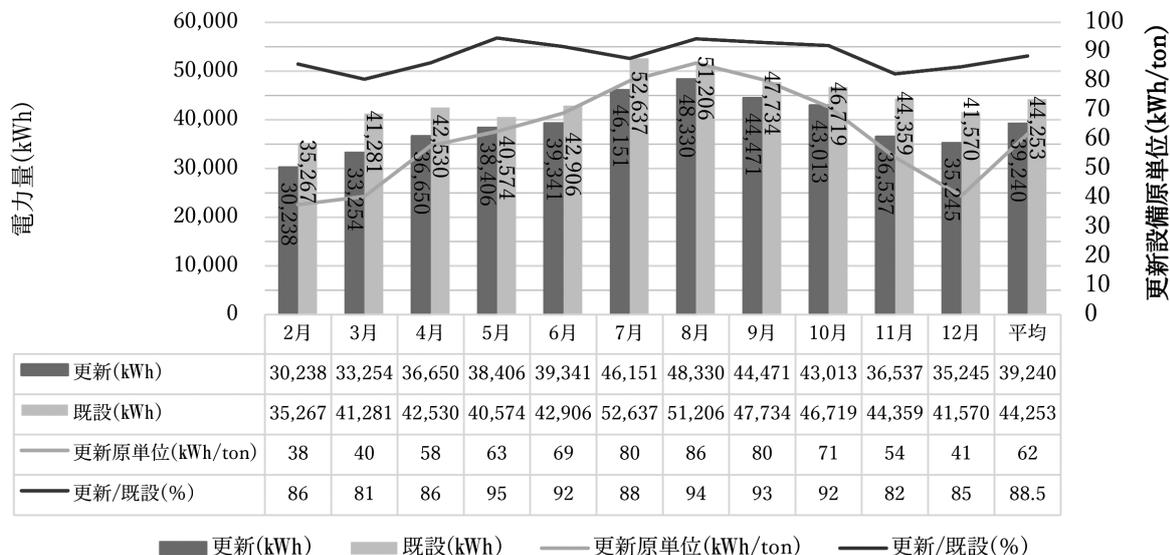
既存フロン冷却設備の経年冷媒漏洩量をCO<sub>2</sub>換算した場合、44.6ton/年のCO<sub>2</sub>排出量削減効果がある。

$44.6\text{ton} = 195 \times 0.13 \times 1760 / 1000$ （既設設備冷媒R22の保有量：195kg、R22のGWP：1760）

また、外気温度が低い時期の電力削減量（既存同時期比）が大きい結果となり、機器特性が十分に発揮されていることが実証された。

表4 電力量比較

#### カネフジ冷蔵殿 電力量比較(一般含む)



## 5. 投資回収（省マネー）

### 1) 投資回収期間の試算

今回、導入した省エネ制御への投資費用と4項で算出した電力削減量から投資回収年数を試算した。

#### ・省エネ投資費用

省エネを図った設備制御・回収等に要した費目は以下の通り。

- ①電力デマンド機能を活用した設備稼働制限制御
  - ・制御プログラム作成費用（中央監視ソフトへ追加）
- ②冷却器ヒーターデフロスト方式の省エネ制御
  - ・冷却器のデフロストヒーター分割費用
  - ・デフロスト終了温度センサー費用
  - ・制御プログラム作成費用（中央監視ソフトへ追加）

①② 省エネ投資費用合計 4,000,000円

#### ・電力削減費用

電力単価を35円/kWhとして4項で算出した年間の電力削減量：60,160kWhを乗じた。

$$60,160\text{kWh} \times 35\text{円/kWh} \doteq 2,105,600\text{円/年}$$

#### ・投資回収年数

省エネ投資費用=4,000,000円、電力削減費用=2,105,600円より、投資回収年数は

$$4,000,000\text{円} \div 2,105,600\text{円/年} \doteq 1.9\text{年}$$

との結果となった。

## 6. 応用性

- ・自然冷媒であるCO<sub>2</sub>冷媒を採用したコンデンシングユニット（C-puzzleシリーズ）は10馬力クラスから今回採用した80馬力クラスまでラインナップしており、様々な規模の冷却設備へ導入することができ、既に納入台数は2,000台を超える。外気温度は43℃まで対応可能で、ガスクーラーへの散水設備を設置する必要がなく、CO<sub>2</sub>冷凍機のなかで冷凍能力当たりの設置面積・重量が業界最小・最軽量である。また、全てのクラスで高圧ガス保安法の製造届が不要で冷凍保安責任者の資格も不要となっているため、設備導入計画しやすい機器となっている。

40馬力以下の機種は、冷凍冷蔵倉庫やショーケースなど、用途を限定した製品となっているが、80馬力機は能力制御の追従速度を向上させるなど、散水プレート式自動製氷機やトンネル式連続急速凍結装置等多用途に対応可能な冷凍機として開発されている。

## 7. 環境保全等

- ・「4. 効果（省エネルギー）」に記載のとおり、既設にくらべ11.3%の電力量削減とエネルギー起源のCO<sub>2</sub>削減量31.95tonの効果が得られた。また、自然冷媒であることから冷媒漏洩によるCO<sub>2</sub>換算44.6tonの削減効果が推定される。

## 8. 仕様又は開発製品等

- ・表5に80馬力クラスコンデンシングユニットCSTS8001MFの仕様書を示す。

表5 仕様書

要 目 表			
項目(単位)	形式	C S T S 8 0 0 1 M F	
外形寸法 (幅×奥行×高さ)		3.450mm×1.260mm×2.780mm	
電源 注1		3相200V 50/60Hz	
冷媒		R744(CO <sub>2</sub> )	
冷凍機油		ダイヤモンドフリーズ MA68	
使用周囲温度		-15°C ~ +43°C	
使用温度範囲(蒸発温度)		-45°C ~ -5°C	
吸入圧力		0.73MPa G ~ 2.95MPa G	
吸入ガス過熱度		10K以上	
法定トン数		19.28トン(届出不要)	
設計圧力		高压:12MPaG、中圧:6.5MPaG・低圧:5MPaG	
冷媒搬送圧力		中圧	
定格能力/COP 注2	冷蔵(蒸発温度:-10°C)	130.0kW / 1.82	
	冷凍(蒸発温度:-40°C)	64.0kW / 1.13	
容量制御方式		インバータ制御	
圧縮機	形式×台数	半密閉インバータ圧縮機×2台	
	呼称出力	30kW×2台	
クランクケースヒータ		300W×2台	
送風機	形式	軸流式(モータ直結)	
	出力×台数	2.4kW×2台	
騒音 注3		84dB(A)	
保護装置		高压圧力開閉器、過電流保護・異常圧力保護	
配管接続径	吸入ガス管	SUS304 32A (溶接接続)	
	液出口管	SUS304 20A (溶接接続)	
質量		3,300kg	
外装塗装色 注4		ガスクーラー部:日塗工E25-75B / 機械室部:ガルバニウム鋼板(塗装なし) / 動力制御盤部(ガルバ近似色グレー)	
配 容 線 量	漏電遮断器	定格電流	350A
		感度電流	100mA(0.1s)
	電線の太さ		150mm <sup>2</sup> ×3
その他		マトリックスコンバータ搭載	

注1 電源変動:定格電圧の±10%以内、相間アンバランス:3%以内としてください。

注2 外気温度32°C、吸入ガス過熱度10Kでの値です。

## 9. 外観・構造図



カネフジ冷蔵全景



C-puzzle80設置場所

## 10. 講評

これも寒冷地におけるCO<sub>2</sub>冷媒冷凍機への改修事例である。約30年前に建設された冷蔵倉庫の冷却設備の老朽化更新工事において、既存設備の運転状態や稼働状況を調査したうえで省エネ・CO<sub>2</sub>排出量削減を目指した改修案を提示し、既存設備を稼働しながら順次更新、竣工後の検証も行って適切な施工が行われた。単なる更新ではなく細かな制御方法などで工夫している点が評価された。

着霜量に応じてデフロスト運転を制御する方式についてもう少し詳細な説明が欲しいという意見や、ヒーターを使用しない方式の選択は無かったのかといった意見もあった。