

冷凍コンテナ故障時における庫内温度変化に関する研究

山口伸弥* 川原秀夫* 石田廣史** 林和寛*** 山本均**** 橋本恵介**** 白石泰****

A study on the Change in the Inside Temperature in the case of Failure reefer container

Shinya YAMAGUCHI, Hideo KAWAHARA, Hiroshi ISHIDA, Kazuhiro HAYASHI
Hitoshi YAMAMOTO, Keisuke HASHIMOTO and Yasushi SHIRAISHI

Abstract

Lifestyle changes over the past decades led to increasing consumption of refrigerated and frozen foods, which are easier and quicker to prepare than the traditional types of food. In order to ensure product quality and health safety, the control of temperature throughout the cold chain is necessary. The study of temperature gradients inside refrigeration rooms and containers is a critical topic for the industry. We experiment observed for sweating phenomenon in the dry container in a real environment of so far, it was examined in detail sweating measures. On the other hand, in the reefer container, the temperature variation in the refrigerator due to the failure of the refrigeration equipment is aware of the impact of the cargo has become an important issue.

In this study, we performed a temperature measurement in the container when the evaporator fan of the refrigeration equipment fails; we examined the impact on cargo.

Key words: Temperature gradients, Food, Reefer container, Evaporator fan, Cargo

1. 緒言

海上輸送において、コンテナが使用され始めたのは今から約 50 年前のことである。今では様々な貨物の輸送に欠かせないものになっている。その種類も用途毎に分化しており、特に温度調節の可能な冷凍コンテナは、食品・化学製品などの海上輸送において盛んに使用されている。冷凍コンテナは、その保温能力により様々な種類がある。通常のドライコンテナに比べて高い気密性・断熱性を備えている。内部には冷凍設備があり、コンテナ内を冷気が循環する仕組みになっている。一般的な冷凍コンテナは摂氏 18°C から -30°C までの間で温度を設定することができるが、零下の温度で設定した時には定期的にデフロスト運転と呼ばれる霜取りを行うため、数時間から十数時間に一度の頻度でコンテナ内の温度が一時的に上昇させる。しかし、この温度上昇は空調機

の付近で一時的に発生するものであり、コンテナ内の貨物に与える影響は非常に小さなものである。荷主がコンテナ内にサーモメーターを設置した場合、定期的に温度が上昇することがある。これは、このような霜取りが間違いなく行われていたことを証明するものであり、むしろコンテナ内の温度が正常であったことを意味している。

このような冷凍コンテナでも、温度変化による事故は存在する。代表的なものとしては冷凍設備自体の故障、電源部分の故障（これにはコンテナ自体の電源故障の他、船側の電源供給設備の故障、コンテナヤードでの電源設備故障がある。）、温度設定の過誤、そしてコンテナ自体の物理的損壊による気密性の損失が挙げられる⁽¹⁾。貨物は港に到着した際に、解凍損害の形跡（一度貨物が解凍した後、再度凍結している等）が発見された場合、輸送中に何らかの

理由でコンテナ内の温度が大きく上昇した可能性がある。実際にどの程度まで温度が上昇したかを確実に把握するためには、荷主側でコンテナ内にサーモメーター等を入れて、その記録を調べる必要がある。特に温度設定の過誤は人為的なミスが混在することが多いので注意が必要になる。多くの冷凍コンテナは、誰でも簡単に温度設定することができる構造になっている。貨物の性質に詳しい出荷主が設定温度を決めるべきであるが、慣行として船会社が出荷主にコンテナを引き渡す前から温度設定していることが多い。したがって、出荷主側でパニングの際に設定温度をしっかりと確認することが重要になる。氷点下以下の輸送が必要である食品等は、冷凍コンテナを使わなければ海上輸送できないことがわかるが、冷凍する必要がないが一定の温度以下で運ぶ必要のある貨物に対し、ドライコンテナか、冷凍コンテナかの何れを使うかの判断基準は非常に重要になる。

我々は、これまでに実環境化でのドライコンテナ内の発汗現象について実験観察し、発汗対策について詳細に検討した⁽²⁾。一方で冷凍コンテナにおいては、外的な要因である日射量、環境温度、さらには冷凍設備の故障による庫内の温度変化が貨物に与える影響について認識しておくことは、貨物の損害保障の立場から重要な課題となっている。そこで本研究では、冷凍コンテナに注目し、冷凍設備である蒸発器ファンが故障した場合における庫内の温度変化について詳細に測定し検討を行った。

2. 実験方法

2. 1 実験装置

図1は、今回の実験で使用した冷凍コンテナの外観写真を示す。コンテナのサイズは全長6m、横2m、高さ2mであり、一般に20フィートコンテナと呼ばれている。なお、コンテナの四隅にはコンテナブロックを設けて、地面から30cmの高さまで持ち上げられている。表1は冷凍コンテナの冷凍設備の性能を示す。

図2は、冷凍コンテナ内の空気の循環経路を示す。コンテナ内では冷気は内部の貨物を包み込むように循環して流れている。この冷気の流れを維持するためには、冷凍コンテナの床面には床レールと呼ばれるレールが敷かれている。冷凍ユニットにある蒸発器ファンから吹き出された冷気は、ユニットの底部からこの床レールに吹き込まれ、ドア側に向かう。ドア側に到達した冷気は上昇し、貨物の上部を通過してユニットに戻る。一般に貨物の積み付けが適当

でないと、この冷気の流れを阻害し、温度が局所的に高くなるホットスポットが発生するため積み付けはとても重要になる。



図1 冷凍コンテナの外観写真

表1 冷凍コンテナの冷凍能力

メーカー	ダイキン工業(株)	
冷凍能力 (60Hz)	庫内温度：2℃，外気温度：38℃	10,000W
	庫内温度：-18℃，外気温度：38℃	5,900W
空気流量 (蒸発器ファン) (60Hz)	High (ESP=12.7mmH ₂ O)	86.8m ³ /min
	Low (ESP=3.2mmH ₂ O)	43.4m ³ /min
吸入空気量 (EPS=12.7mmH ₂ O, 60Hz)	0, 15-250m ³ /h	
最大消費電力	13.5kW	
冷媒	型式	R134a
	充填量	4.5kg
庫内温度範囲	-30～30℃	
環境温度範囲	-30～50℃	
サイズ	高さ	2234.5mm
	幅	2025mm
	奥行き	415mm
重量	409kg	

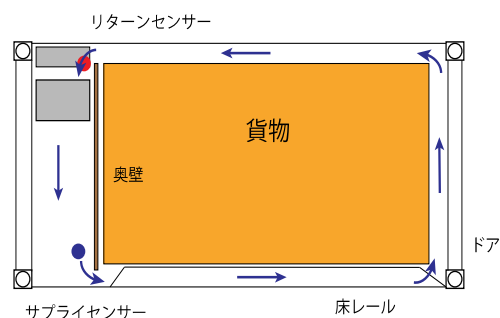


図2 冷凍コンテナ内の空気の循環経路

図3は冷凍コンテナ内部をドア付近から撮影したものである。図に示すように、今回使用した冷凍コンテナの冷凍ユニットには蒸発器ファンが2台設置してあるため空気の吸い込み口と冷気の吹き出し口はそれぞれ二箇所ある。

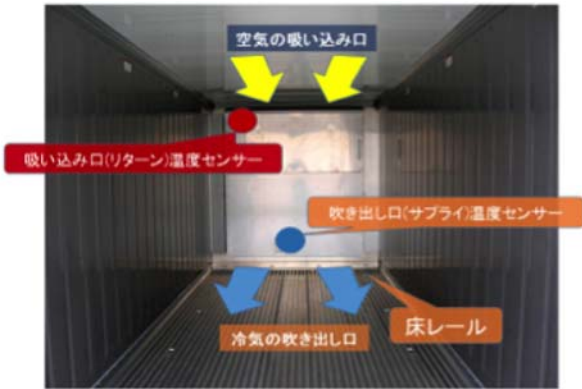


図3 冷凍コンテナ内部の様子

2. 2 計測装置

図4は冷凍コンテナの内の貨物の積み付け状態を示す。冷凍コンテナ内の温度変化を捉えるため、本研究では冷気の吹き出し及び吸い込み口付近の温度、積み付けた貨物内部の温度、さらには外気温度の時間変化を測定する。図5は冷凍コンテナ内部の牛肉の積み付け状況を示す。なお今回実験で使用した貨物は図中の赤で示している牛肉のブロックであるが、その他に部分は飲料水をパック詰めしたものを使用した。貨物である牛肉ブロックと飲料水のパックは図に示すように縦7個、横7個、奥行き13列に積み付けた。図6は冷凍コンテナ内部の牛肉ブロック内の中心部に差し込んだ熱電対を位置とセンサー番号を示す。各熱電対から信号データは10分毎にデータレコーダに記録される。また外気の温度変化の要因である日射量を測定するため、日射量計をコンテナ外部の天井に設置し、温度データと同様、10分毎にデータレコーダに記録される。



図4 冷凍コンテナの内の貨物の積み付け状態

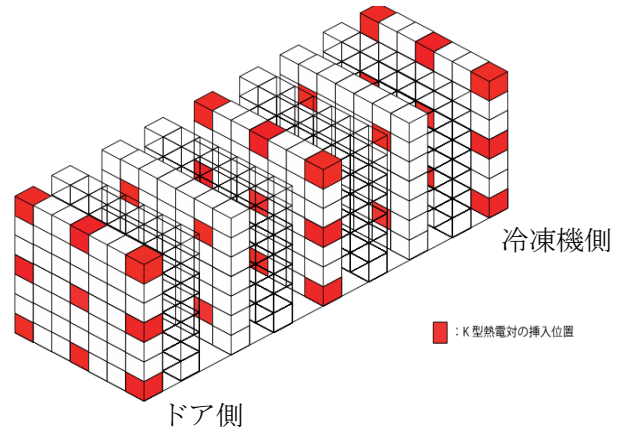


図5 冷凍コンテナ内部の牛肉の積み付け状況

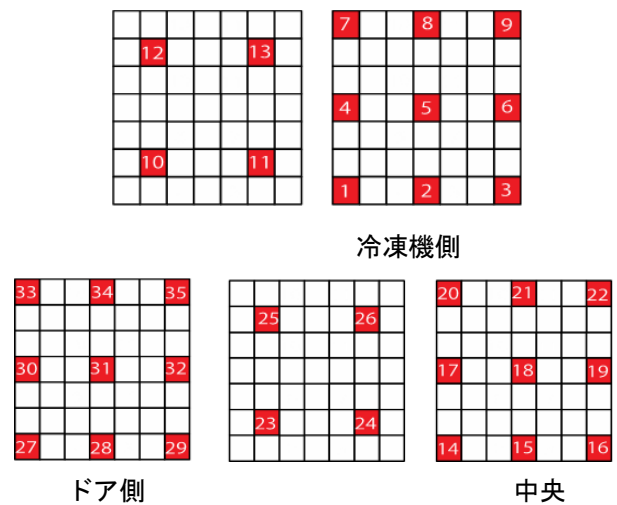


図6 冷凍コンテナ内部の牛肉ブロック内の中心部に差し込んだ熱電対を位置とセンサー番号

2. 3 実験条件

本実験では、庫内の設定温度を -20°C とし、冷凍装置の故障原因として2台ある蒸発器ファンのうち、片側1台だけが故障した場合における庫内の温度変化を詳細に測定した。なお、実験期間は2015年6月25日から9月14日の約3ヶ月である。表2は実験期間中の実験条件を示す。

図7は、冷凍コンテナの奥行き方向に設置してある冷凍ユニット内部の蒸発器ファンの位置を示す⁽³⁾。本実験では温度計測データが多いため、本研究報告では図3に示した冷凍コンテナ内部の冷気吹き出し口付近の温度、冷凍ユニットの運転制御に使用される空気吸い込み口付近の温度および冷気の影響を受けやすい貨物内部の温度(No.1~No.9)について報告する。さらに冷凍コンテナ外部から影響について検討するため、外気温度および日射量変化についても検討する。

表2 実験条件

実験条件		実験期間
①	蒸発器ファン2台運転 (通常運転)	2015年6月25日～ 2015年6月30日
②	蒸発器ファン1台運転 (ドア付近から見て左 側の蒸発器ファン停止)	2015年6月30日～ 2015年8月3日
③	蒸発器ファン2台運転 (通常運転)	2015年8月3日～ 2015年8月21日
④	蒸発器ファン1台運転 (ドア付近から見て右 側の蒸発器ファン停止)	2015年8月21日 ～2015年9月14日

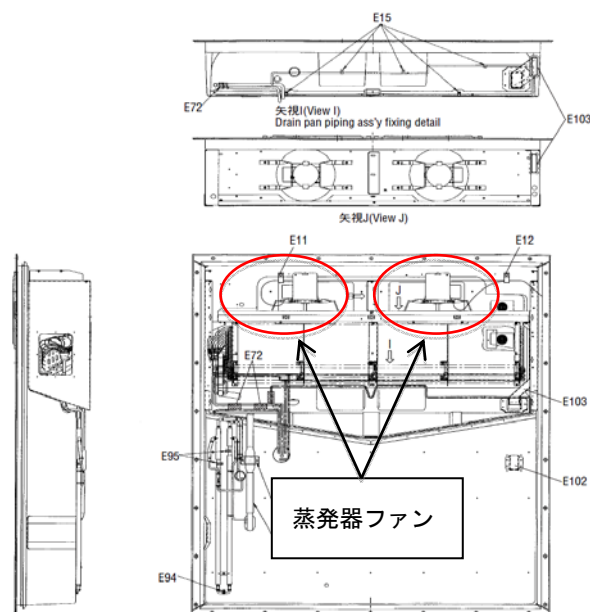


図7 冷凍ユニット内部の蒸発器ファンの位置

3. 実験結果

3.1 蒸発器ファン停止による冷気吹出し口付近温度および吸込み口付近温度

図8は、全実験期間における冷気吹出し口付近温度と吸込み口付近温度の時間変化を示す。なお、図中の青の実線は吹出し口付近温度、赤の実線は吸込み口付近温度を示す。図に示すように蒸発器ファンの停止の有無に関わらず、吸込み口付近の温度は -20°C を基準にして周期的に高い温度変化を示している。これは先に述べたように冷凍機のデフロスト運転によるものである。蒸発器ファンの運転状況によって、吸込み口付近の温度変化に対して吹出し口付近の温度は大きく影響している。次に実験条件①から②への移行期間に注目した。図9は図8に示した実験期間の中で6月28日から7月4日までの温度変化を示す。図に付記した蒸発器ファンの運転状

況において、蒸発器ファン2台運転では、吸込み口付近温度はデフロスト運転の影響を除けば、 -20°C 付近を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲で変動していることがわかる。一方、吹出し口付近温度は吸込み口付近温度に比べて、平均温度が -20°C 以下であり、その変動も最大 4°C である。蒸発器ファン1台運転(左側ファン停止)では、吸込み口付近の温度変動は蒸発器ファン2台運転時に比べて僅かに変動幅が大きくなっている。一方、吹出し口付近温度の平均値は、蒸発器ファン2台運転時に比べて吸込み口付近温度の平均値より高くなっている。これは蒸発器ファンが1台運転になったことで、庫内への冷気吹出し量が減少したことによるものである。さらに実験条件③から④への移行期間について検討する。図10は図8に示した実験期間の中で、8月19日から8月25日までの温度変化を示す。この期間は図に付記したように蒸発器ファン2台運転から蒸発器ファン1台運転(右側ファン停止)への移行期間である。蒸発器ファン2台運転時では、吸込み口付近温度及び吹出し口付近温度は図9で示した蒸発器ファン2台運転時と同様な変化を示しているが、蒸発器ファン1台運転時(右側ファン停止)では吹出し口付近温度の変動の幅が 4°C から 6°C に変化し、さらに吹出し口付近温度平均値は、吸込み口付近の温度平均値より低下していることがわかる。以上のように蒸発器ファンの左右どちらか一方が停止することにより、吸込み口付近及び吹出し口付近の平均温度が大きく変化する理由は、冷凍ユニットを温度制御する温度センサーの位置が関係している。冷凍ユニットを温度制御するための温度センサーが蒸発器の左側ファンの吸込み口付近に存在しているため、左側のファンが停止すると、蒸発器付近で冷気が滞り吸込み口付近温度が低い値を示す。これにより温度制御する温度センサーは設定温度より低い値を検知するため、冷気の吹出し量を抑制するため吹出し口付近の温度が高くなった。なお、温度制御する温度センサーから離れている蒸発器右側ファンが停止した場合には、このような温度変化は観察されていない。

3.2 蒸発器ファン停止による貨物の温度変化

図11は、蒸発器ファンが停止した時の庫内の温度変化を示す。この結果から、全体的な温度の変化傾向はどの位置においても定性的に一致している。定量的には吹出口付近にある最下段の貨物の温度が低い値を示し、吸込口付近にある最上段の貨物の温度

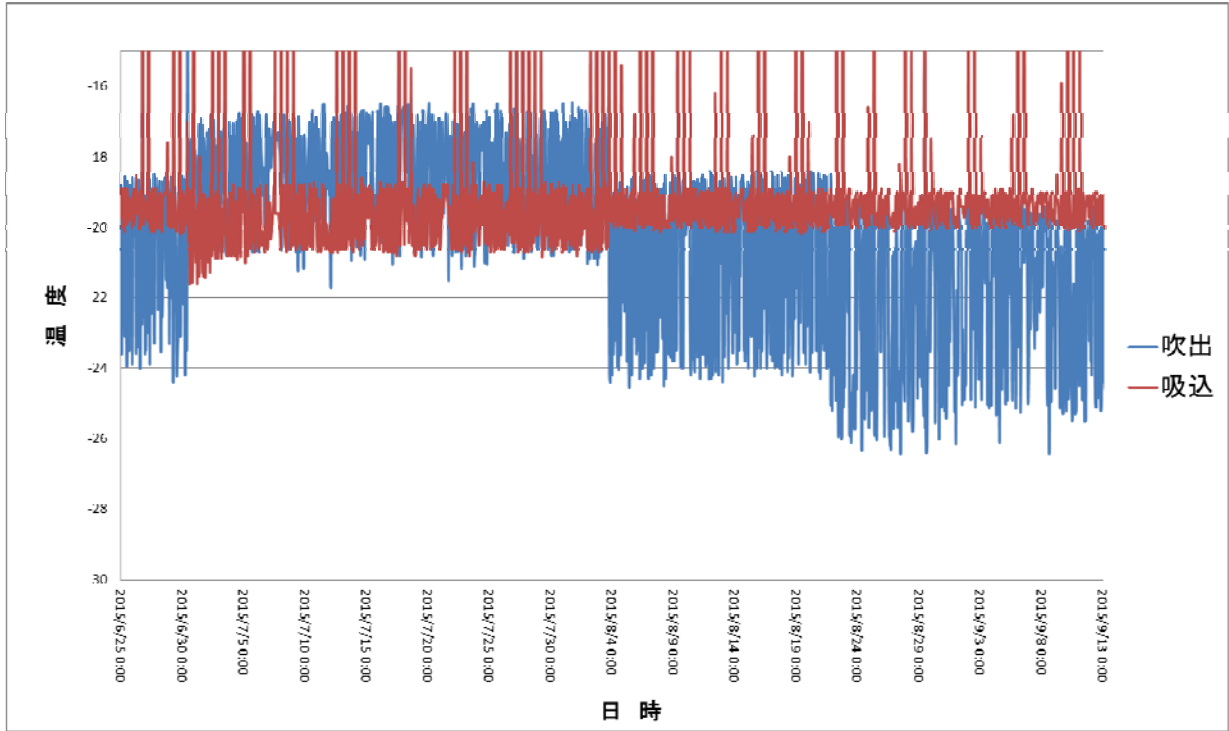


図8 全実験期間における冷気吹出し口付近温度と吸込み口付近温度の時間変化

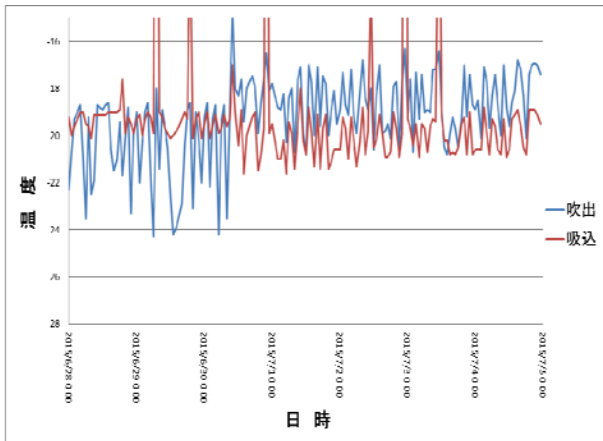


図9 実験条件①から②への移行期間における温度変化

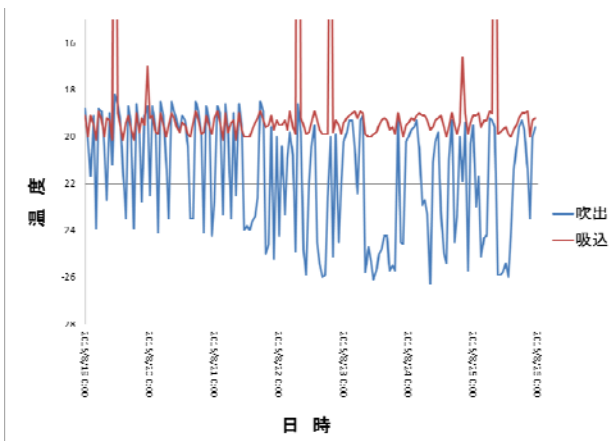


図10 実験条件③から④への移行期間における温度変化

が高い値を示していることがわかった。左側のファンを停止した際、貨物の温度は 3.5 °C 上昇した。これは吹出温度と吸込温度の変化に直接影響を受けたためである。右側のファンを停止した際は、最下段の貨物にあたる No.1、No.2 の温度が低下しているが、これは蒸発器吹出温度が低くなったためである。ただし、同じ最下段 No.3 への影響が少ないのは、左側ファンが停止し、右側へ冷気の流れが集中したためであると考えられる。

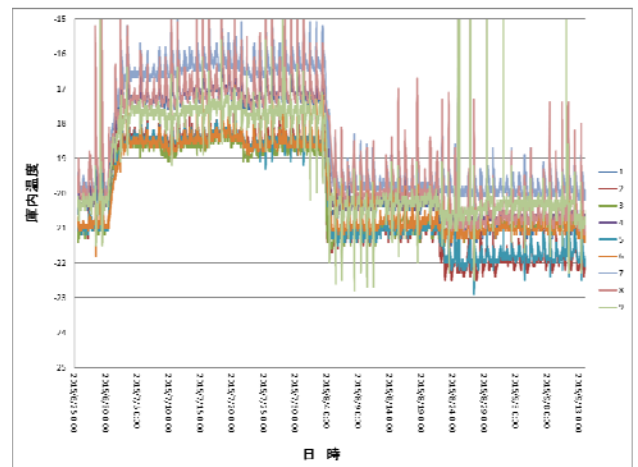


図11 蒸発器ファンが停止した時の庫内の温度変化

3. 3 環境変化による貨物の温度変化

図12は蒸発器1台運転(左側ファン停止)における6月28日から7月4日の温度変化と外気温の関係を示す。

また図13は図12と同一条件で日射量との関係を示す。この結果から、外気温度および日射量による庫内貨物の温度変化は最大で0.5℃の上昇で冷凍機運転制御の範囲内であることから、直接庫内貨物への影響は小さいと思われる。ただし、全ての条件において、最上段にあるNo.7やNo.8の貨物の温度が高い値を示し、南側側面にあたるNo.1、No.4、No.7の貨物の温度が高い値を示した。積み付け位置により2℃程温度差があり外部からの影響もあるといえる。

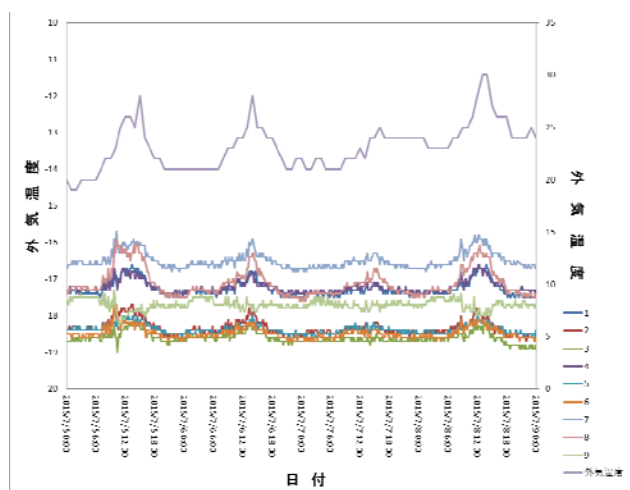


図12 蒸発器1台運転（左側ファン停止）における6月28日から7月4日の温度変化と外気温度との関係

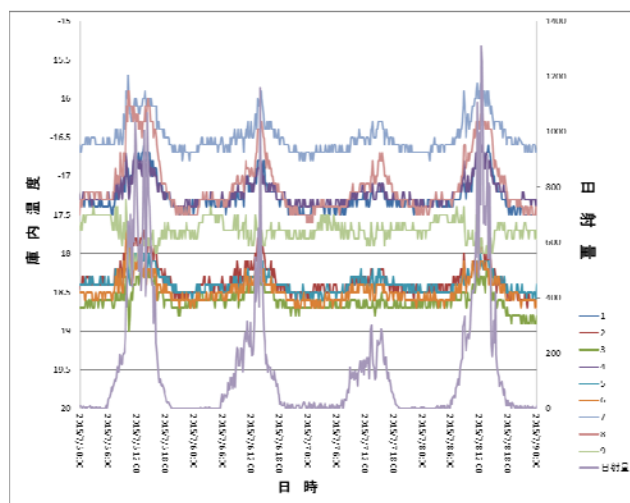


図13 蒸発器1台運転（左側ファン停止）における6月28日から7月4日の温度変化と日射量との関係

4. 結論

実際に船舶に搭載されている冷凍コンテナを屋外に設置し、冷凍設備が故障した場合に庫内温度上昇に伴う解凍過程の観察を行う中で、蒸発器送風ファン2台のうち、1台が故障した場合における庫内の温度変化について検

討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 蒸発器ファンが2台のうち、左側にある吸込口のセンサー側の蒸発器ファンが停止した場合、庫内の温度制御が困難となり、4.0℃上昇した。貨物によっては損害を及ぼしかねない値である。
- (2) 庫内の温度管理として吸込温度により制御および表示しているため、どちらか一方の蒸発器ファンが停止しても大きな変化が見られず、輸送時に庫内温度の変化に気づくことは大変難しい。
- (3) コンテナ貨物の配置による貨物温度について、上段に行くほど、また南側側面にいくほど高く外気温および日射量に影響を受けており、積み付け位置により外部からの影響もあるといえる。

以上のことから、コンテナ内部の冷気の流れが、温度変化に大きく影響することが明らかになった。今後の課題として対象貨物の品質の変化についても検証の必要性がある。

最後に本研究を進めるにあたって実験に協力してくれた本校商船学科5年山近翔輝学生に謝意を表す。

参考文献

- [1] 「コンテナ貨物の損害に関する調査研究 報告書」一般社団法人日本海事検定協会 (H26.3.29)
- [2] 林和寛：平成27年度海洋交通システム学専攻特別研究報告書
- [3] ダイキン海上コンテナ冷凍装置サービスガイド LXE10E100以降 (DECOSIIIe,f) ダイキン工業株式会社