

(公3-07)
コンテナ貨物の損害に関する調査研究
報 告 書

平成29年3月31日

一般社団法人日本海事検定協会

大島商船高等専門学校

目 次

1.	目的	…2
2.	事業実施方法	…2
3.	実施場所	…2
4.	研究・実験結果の収集と解析	
	4-1 ドライコンテナ	
	(1) 床板ニス塗り実験	…4
	(2) 発泡スチロールボードの効果検証	…6
	4-2 冷凍コンテナ	
	(1) ベンチレーションを部分的に開放した場合の冷凍コンテナ内の 温度変化	…11
	(2) 冷凍機が停止した際の貨物温度変化の確認実験(夏場)	…14
5.	まとめ	…17

1. 目的

近年、輸送貨物の内、各種の一般雑貨や原材料、食品・食材料（冷蔵、冷凍を含む）、電気・機械製品、産業製品などを始めとして、様々な製品、材料、物品から重量貨物に至るまでコンテナ貨物として輸送されている。その輸送経路も様々で、輸送環境状態は大きく異なる。当然のことながら海上輸送では陸上輸送に比べて輸送距離も長距離となり、輸送経路での気象海象を始めとして輸送環境や船舶動揺状況も様々であり、そのために生じると考えられるコンテナ輸送貨物の損傷も様々である。

本共同研究では、リーファーコンテナで輸送される冷凍・冷蔵コンテナ貨物の温度異常による損害とドライコンテナで輸送される一般貨物の汗濡れ損害について、実験と数値シミュレーション解析に基づいて調査研究、分析するとともに事故原因を明らかにし、それらの対策、予防策についても研究することを目的とする。

2. 事業実施方法

本共同研究では、当初3カ年の計画だったが、研究期間を1年延長し、ドライコンテナに関しては温湿度データの蓄積、冷凍コンテナについては、冷凍貨物の損害調査に基づいた実験と解析を行った。

3. 実施場所

研究場は、主研究者が在籍し、かつ研究・実験に必要で適した十分な用地を保有している大島商船高等専門学校（山口県大島郡周防大島町大字小松南 1091-1）の校内遊休地を借用することとなった。

瀬戸内海気候にあるため、雨が少なく温暖で研究実験に適した場所である。温暖ではあるが、過去5年間の夏季最高気温は 36.5℃超、冬季最低気温は(－)6.6℃と、実験するに十分な気温変化がある。



【図1】 大島商船高等専門学校の位置



【図2】大島商船高等専門学校の上空写真
(赤丸がコンテナ設置場所)

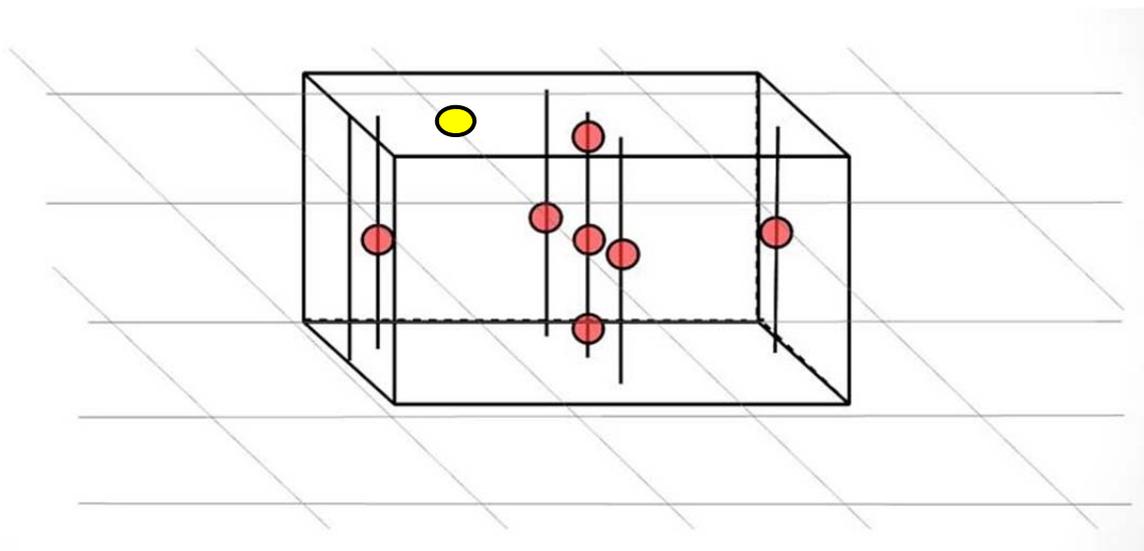


【図3】コンテナおよび実験棟配置

4. 研究・実験結果の収集と解析

4-1 ドライコンテナ

A,B,C,Dの4本のコンテナを準備し、下記の通り7か所に温湿度センサー(赤丸)と天井(鉄板部)に接触型温度センサー(黄丸)を設置した。



【図4】ドライコンテナ内のセンサー位置

(1) 床板ニス塗り実験

昨年度の実験で、床板をビニールシートで覆うと、コンテナ内の水蒸気量が影響を受けることが確認された。

この実験結果を踏まえ、床板にニスを塗ることで、新品コンテナの床板状態を再現し、新品の表面がコーティングされた床板と、使い込んでコーティングが剥がれたコンテナ床板で水蒸気量に影響差があるのか、確認を行った。

実験期間は2016年6月8日から6月22日の約二週間でいった。

実験はAコンテナを基準とし、Dコンテナの床板に大量にニスを塗り込んだ。



【図5】床板ニス塗り作業状態

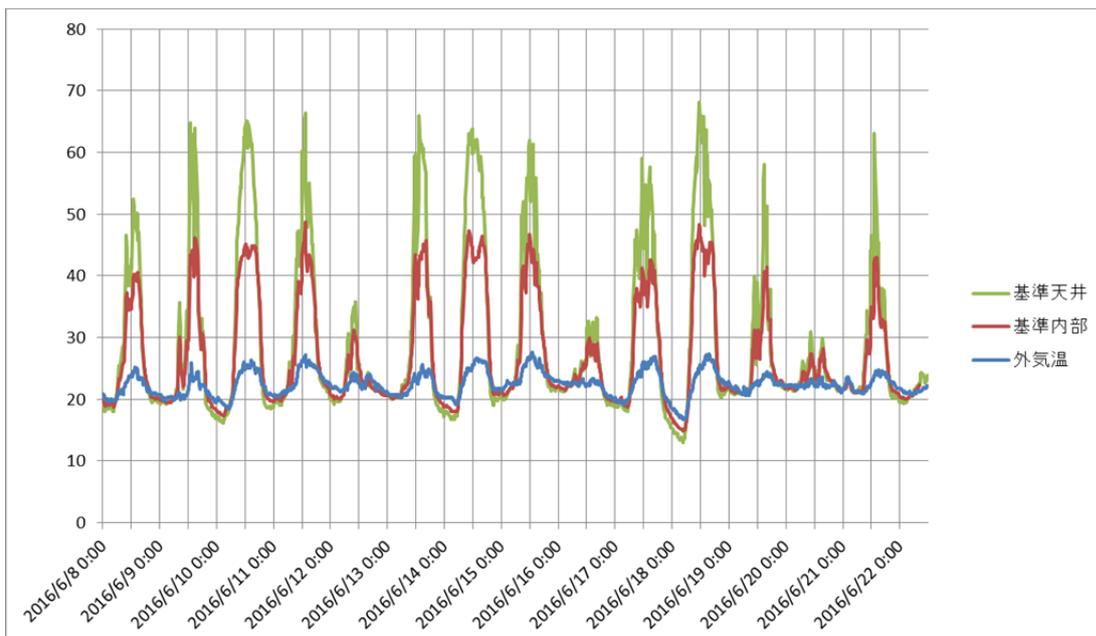


【図6】ニス塗りの床板の状態

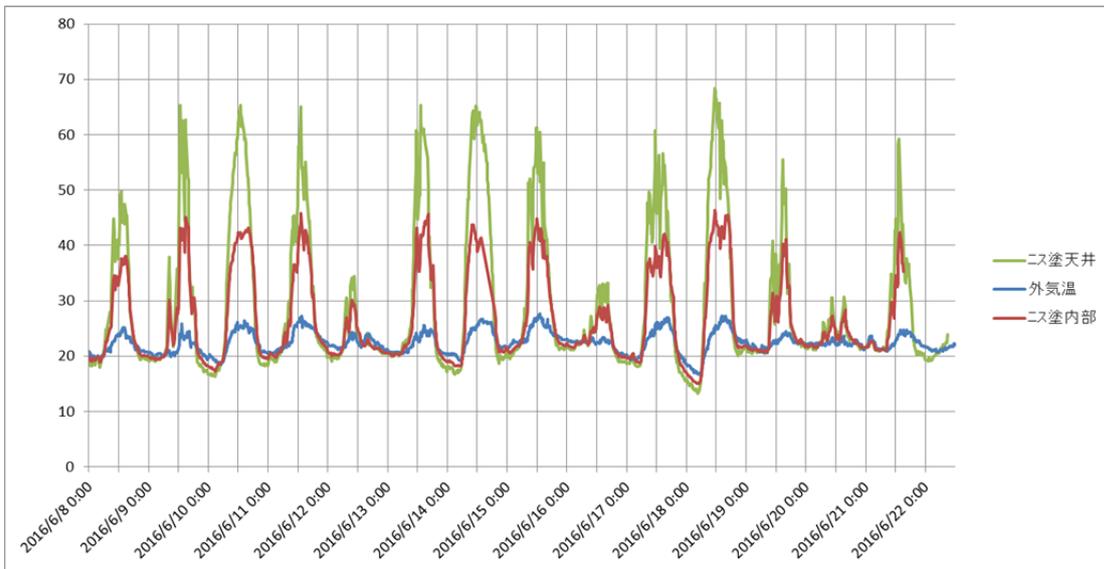


【図7】基準コンテナ(ニス塗りなし)

実験結果は、下記の通りだった。



【図8】基準コンテナの温度記録

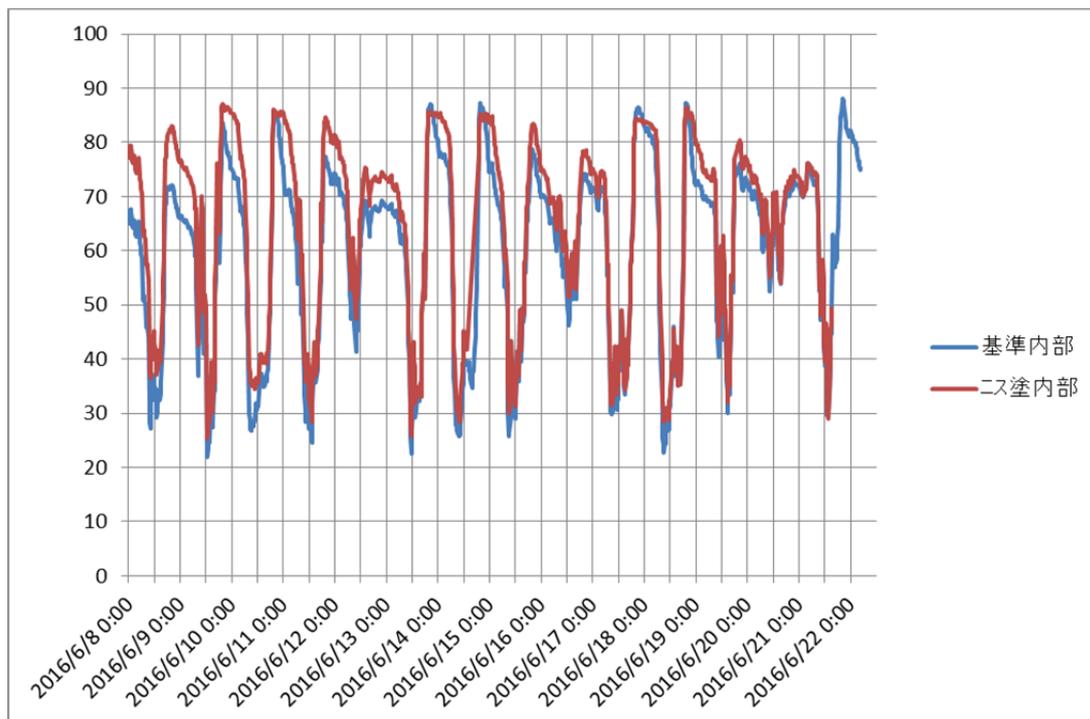


【図 9】ニス塗りコンテナの温度記録

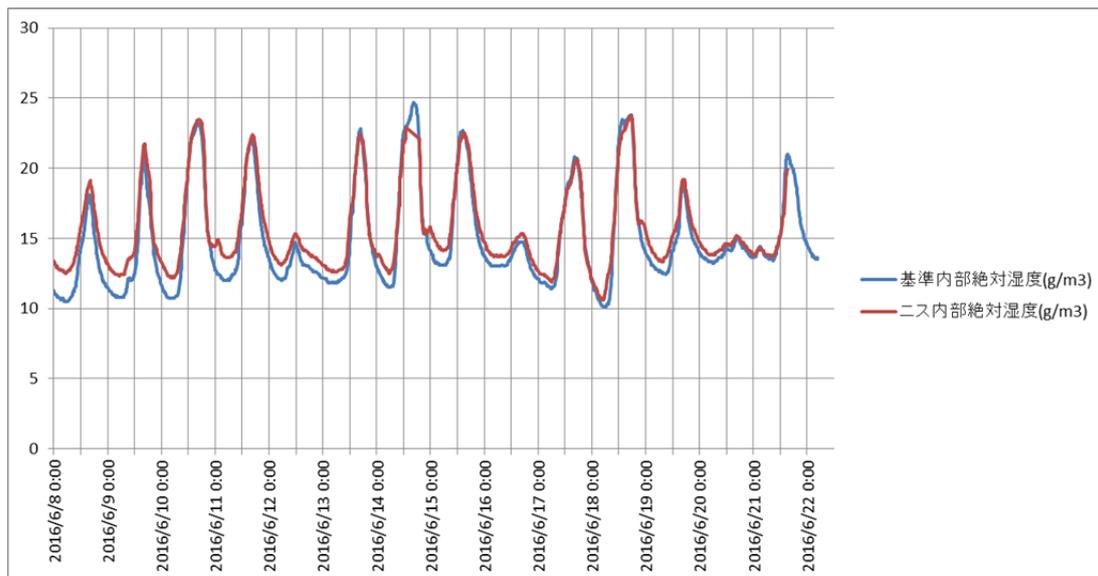
温度に関して、全体を通じて、両コンテナの結果に差はなかった。

実験時の環境として、実験期間は 6 月であったが、外気温は高いときで約 25°C、昼間の天気がいい日にはコンテナ内温度は約 45°Cまで上昇し、特に天井の温度は約 70°C近くまで達していた。

下記はコンテナ内湿度の比較グラフである。



【図 10】基準およびニス塗りコンテナの相対湿度記録比較グラフ



【図 11】基準およびニス塗りコンテナの絶対湿度記録比較グラフ

相対湿度、絶対湿度共に若干の数値差はあるが、傾向はほぼ同じだった。

よって新品コンテナと古いコンテナで床板の影響によるコンテナ内環境変化はほぼ起こらないという結果であった。

(2) 発泡スチロールボードの効果検証

昨年度の実験で、コンテナ内壁全面に発泡スチロールボードを当てると通常のコンテナよりコンテナ内の温湿度がより発汗しにくい環境になることが確認された。

本年度は発泡スチロールボードをコンテナ内に設置した貨物へ部分的に当てることで、貨物の温湿度の環境に変化があるのかどうかの確認を行った。

実験方法は、段ボール箱(空箱)をコンテナ側壁に4箱x5段x5列に並べ、温度センサーを段ボール箱内に設置し、床面を除いた全体を発泡スチロールボードで覆った。

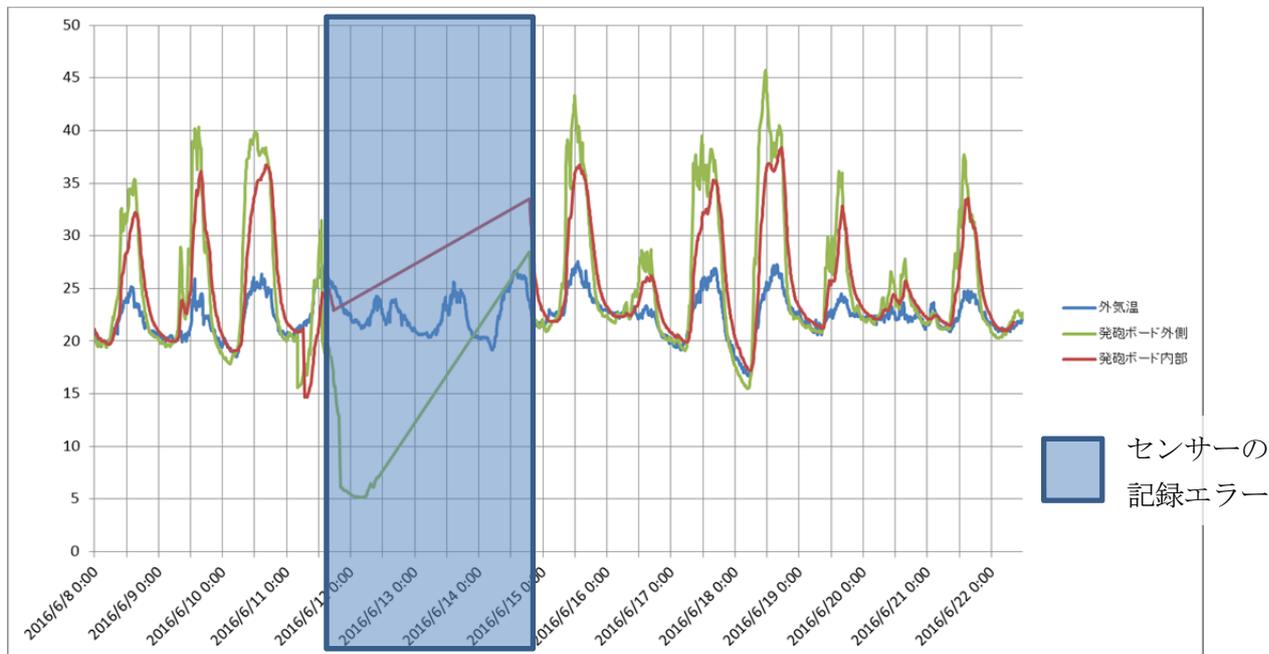
実験期間はニス塗りと同じく2016年6月8日から6月22日の約二週間で行い、計測結果は下記の通りだった。



【図 12】昨年度の実験環境(コンテナ内壁、天井の全面を発泡スチロールボードで覆った。)



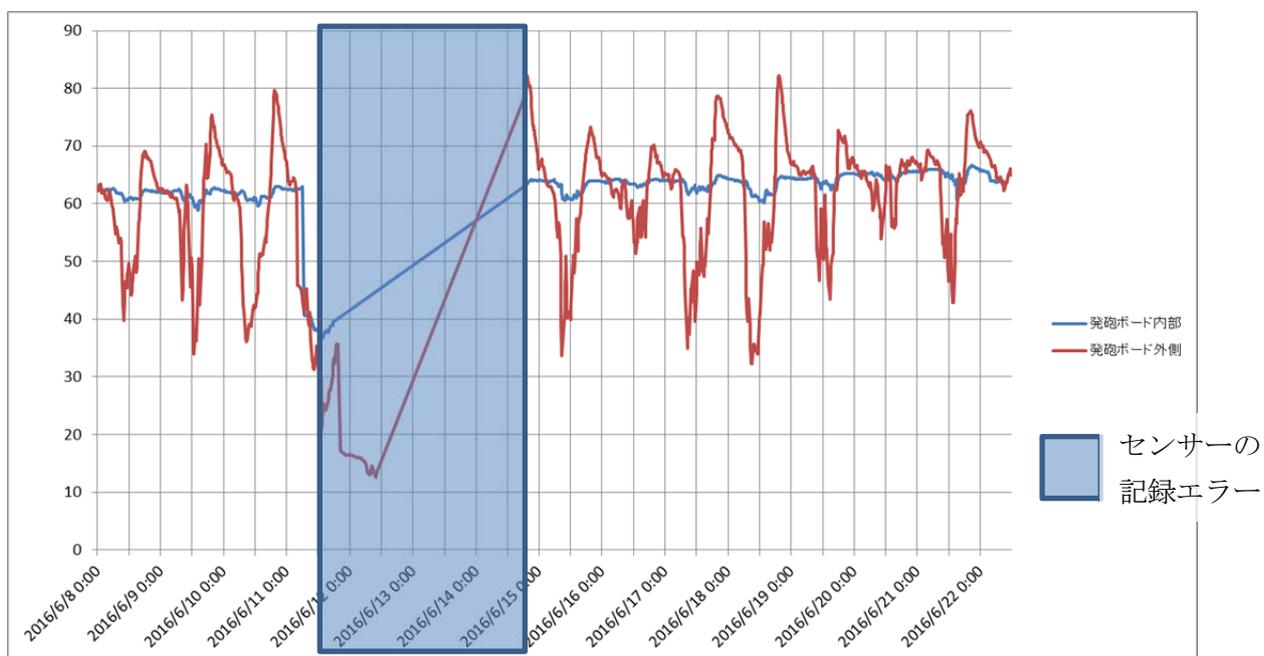
【図 13】本年度のイメージ図(部分的に段ボール箱を積み上げ、その周り全面を発泡スチロールボードで覆った。)



【図 14】コンテナ内場所毎の温度記録(温度は各センサーの平均値を採用)

温度は、発泡スチロールボード内側と外側を比較すると、外側の方が全体的に高く、例えば 6 月 18 日であれば発泡スチロールボード内側が約 36℃に対し、外側は約 46℃と 10℃の差が発生していた。

一方、湿度の計測結果は下記の通りだった。



【図 15】コンテナ内場所毎の湿度記録(温度は各センサーの平均値を採用)

発泡スチロールボード内側は湿度が約 60%で安定していた。これは段ボール箱が湿度を吸収/放出したことにより、段ボール箱内の環境が安定したためと思われる。

一方で発泡スチロールボード外側は湿度が一定の幅で変動していたが、外側のセンサーは箱の外に設置していたため、一概に発泡スチロールボードの効果とは断定できない。

しかしながら、昨年度の実験で行った際は段ボール箱にセンサーを入れていても湿度は一定の幅で変動していたので、発泡スチロールボード&段ボール箱を使用すると輸送環境が安定する期待がある。

なお、発泡スチロールボード外側にも段ボール箱を設置し、温湿度の計測を行いたかったが、日程の関係で検証を行うことはできなかった。

4-2 冷凍コンテナの実験

清水 20 リットル入りポリタンク（カートン入り）と昨年から引き続き冷凍牛肉 35 箱に温度センサーを配置し、実験を行った。

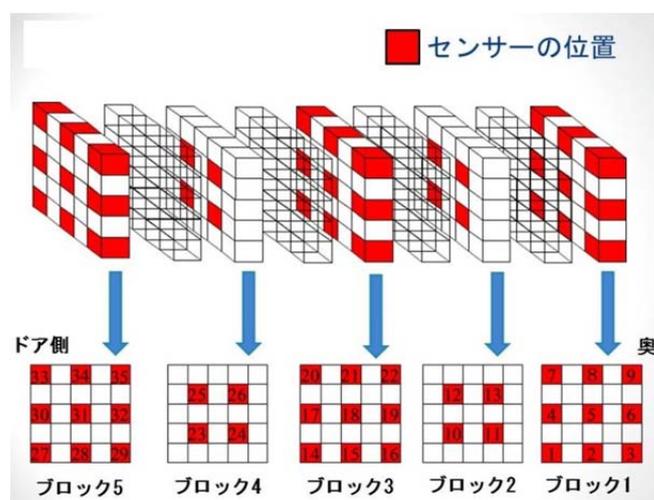
センサーの配置等は下記の通り。



【図 16】 冷凍コンテナ内の貨物の状態



【図 17】 温度センサーを設置した冷凍牛肉



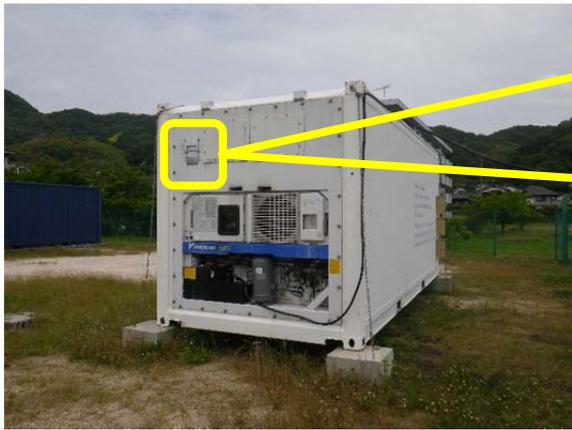
【図 18】 センサー配置図

(1) ベンチレーションを部分的に開放した場合の冷凍コンテナ内の温度変化

ベンチレーションとはコンテナ冷凍機側に設置され、ここを開放することで外気とコンテナ内の空気を入れ換えることができる。

このベンチレーションを 10%程度解放した状態で、冷凍機を冷凍モード(設定温度 -20°C)で稼働した場合、中の貨物温度がどのように変化するかについて調査を行った。

開放期間は 6 月 6 日から 27 日 (21 日間) で、6 月 27 日に状態を貨物の温度を確認した結果は下記の通り。



【図 19】 ベンチレーション位置



【図 20】 ベンチレーションの開放状態(10%開放)

6月27日に冷凍機の温度センサーの表示を確認したところ、設定温度-20℃に対し、リターンの温度が-19℃を示していた。設定温度よりも1℃高い結果となっていた。



【図 21】 冷凍機設定温度



【図 22】 6月27日確認時のリターン温度

コンテナ内側から奥(冷凍機側)を確認したところ、上部右側、ベンチレーションが位置する箇所に大量の氷が発生していた。

奥壁のパネルを開放し、中の状態を確認したところ、右上段、中段左右および底部に大量の氷が発生していた。

これはベンチレーションから入った暖かく湿った空気がコンテナ内の冷気とふれ、氷になった結果である。



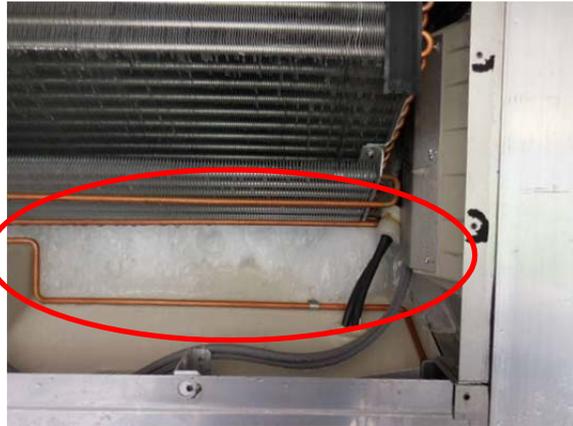
【図 23】 コンテナ奥天井部付近の様子
(氷の塊が見えている。)



【図 24】 奥パネルを開放した状態
(氷の塊が散見)



【図 25】 上部の氷の塊



【図 26】 中段右側の氷の塊



【図 27】 中段左側の氷の塊



【図 28】 底部の氷の塊

実験前後でドア口上段に積載した貨物(牛肉)の状態を比較したところ、下記の通りだった。

【図 29】実験前の冷凍牛肉の状態

【図 30】実験後の冷凍牛肉の状態

No. 33 (ドア口左端上段)



No. 34 (ドアロ中央上段)

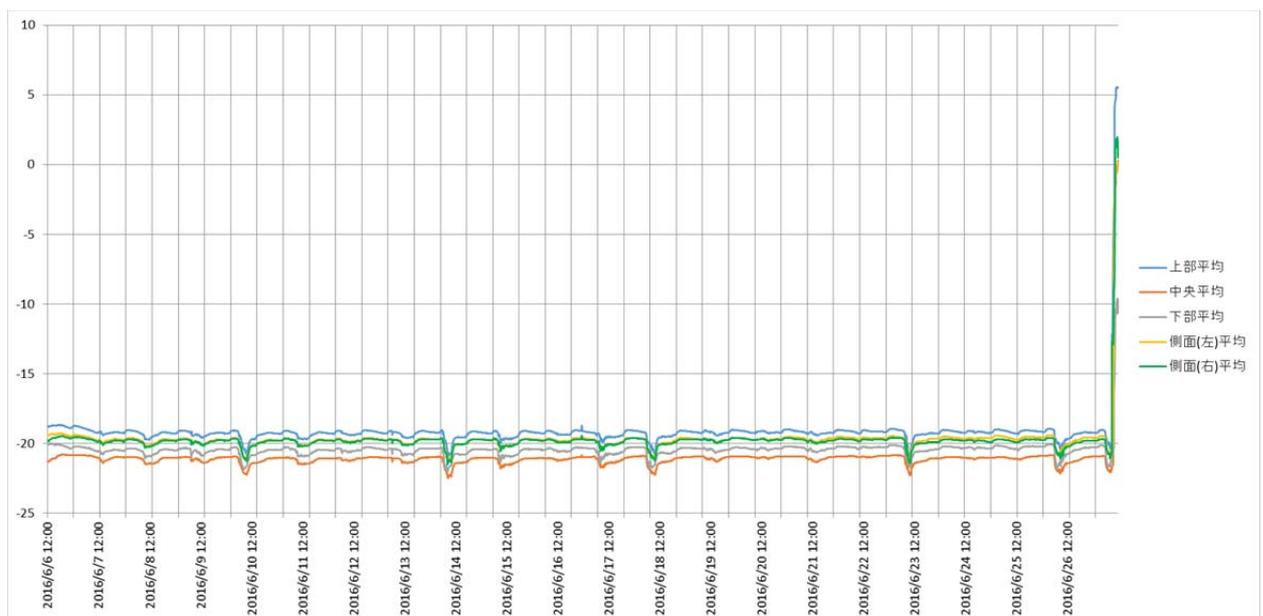


No. 35 (ドアロ右端上段)



結果として、肉の状態に大きな変化はなく、逆に表面の霜が取れ、貨物がきれいになったような印象だった。

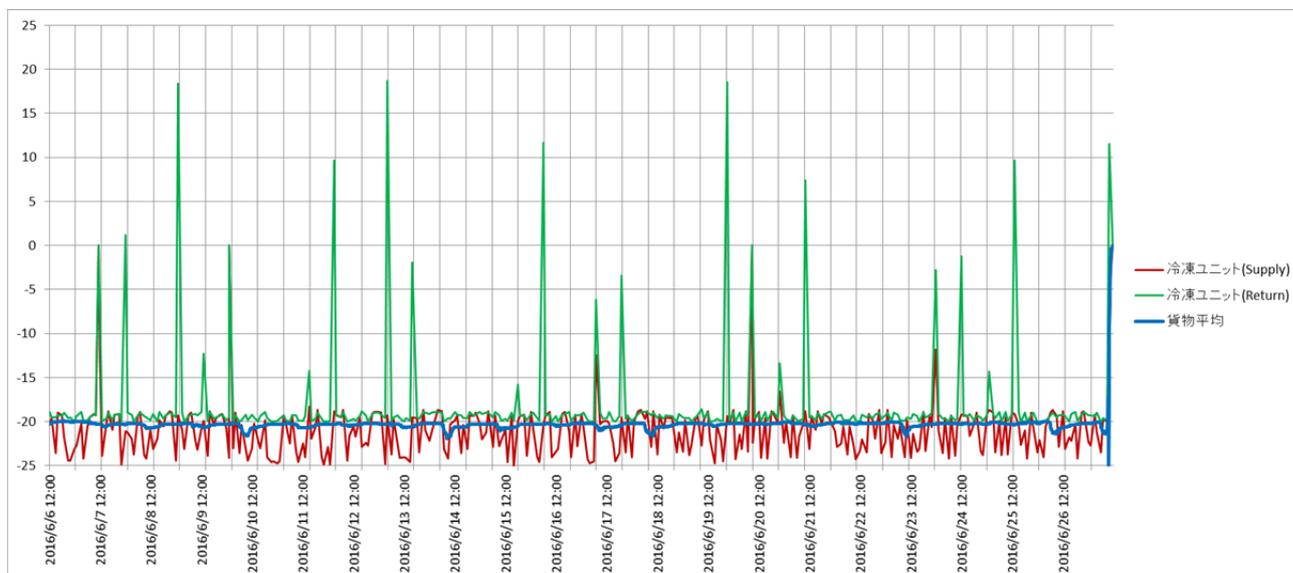
またコンテナ内の温度センサーの記録は下記の通りだった。



【図 31】 場所毎の平均温度の比較グラフ

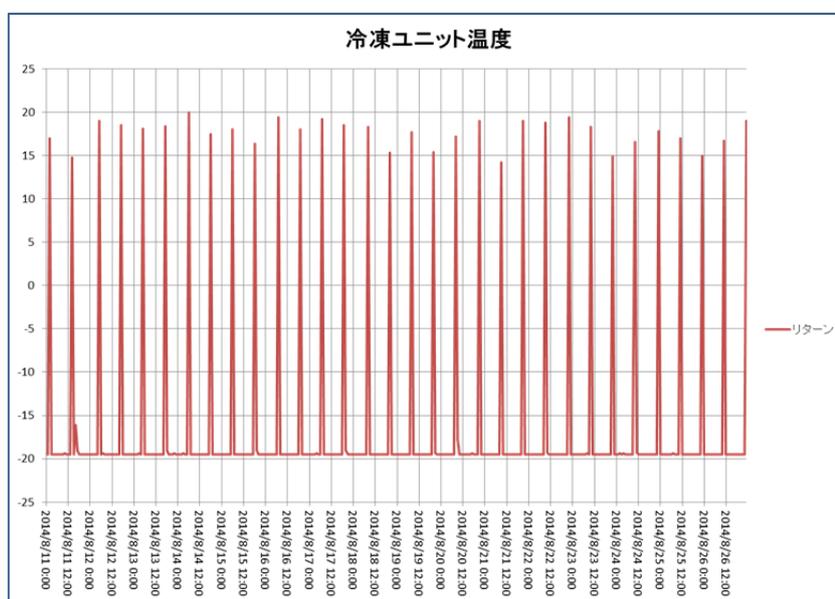
中央部平均が全体を通して設定温度より1~2℃低く、上部平均が全体を通して設定温度より1~2℃高い傾向が見られたが、貨物温度は概ね設定温度周辺を保持していた。

一方で、冷凍機の温度記録は下記の通りだった。



【図 32】 冷凍機の温度記録と貨物全体平均温度の比較グラフ

設定温度に対して大きな異常は見られないが、下記正常運転時の冷凍機温度記録と比較すると①デフロストの温度が低い、②設定温度付近で温度が頻繁に昇降している、という傾向が見られる。



【図 33】 正常運転時の冷凍機温度記録

冷凍機の温度記録から、貨物表面の霜がきれいになくなっていたのは、庫内温度が小刻みに昇降したことと関係があるものと思われる。

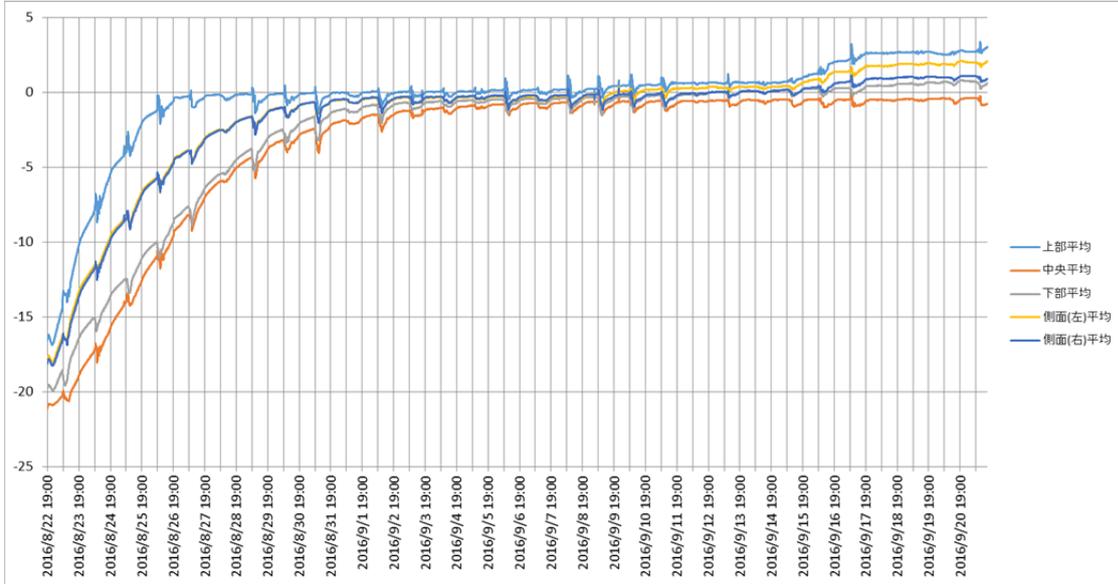
尚、今回の21日間の運転では温度に大きな影響は見られなかったが、冷凍機メーカーによれば、エバポレーターファンのモーター付近まで大量の氷が及んでおり、もう少し同じ環境で運転を継続していたら、モーターが壊れていたであろうとのことだった。

(2) 冷凍機が停止した際の貨物温度変化の確認実験(夏場)

本実験の目的は、冷凍貨物輸送中に冷凍機が故障した場合を想定し、冷凍機を強制的に停止することで、コンテナ内の貨物温度がどのように上昇するのかを確認することである。

同様の実験は平成 25 年度に秋から冬にかけて、平成 27 年度に冬から春にかけて行った。今回は実験期間を 8 月 23 日から 9 月 21 日設定し、夏場の温度上昇傾向の確認を行った。また今回は新たに天井パネルおよび床レール付近にも温度センサーを配置した。

9 月 21 日にセンサーの温度記録を確認した結果は下記の通りだった。

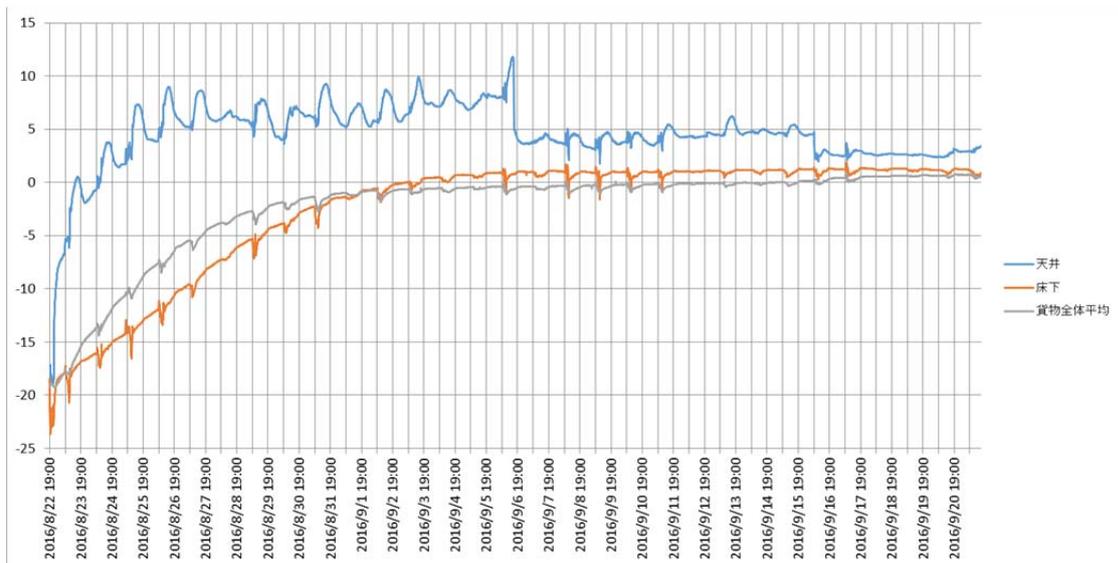


【図 34】 場所毎の平均温度の比較グラフ

温度上昇は上部平均が一番早く、 -10°C に達するのに約 1 日、次に側面(左右)平均が約 2 日、次に下部平均が約 3.5 日、一番遅く -10°C に達していたのは中央部の約 4 日だった。

昨年度の実験(4 月 20 日～5 月 2 日)では一番早く -10°C に達した上部平均で約 3 日、一番遅い中央部で約 7 日間を要していたので、明らかに夏場の暑い季節の方が温度上昇は早い結果となった。

続いて、下記は貨物全体の平均と天井付近、および床レール(床下)の温度記録を比較したものである。



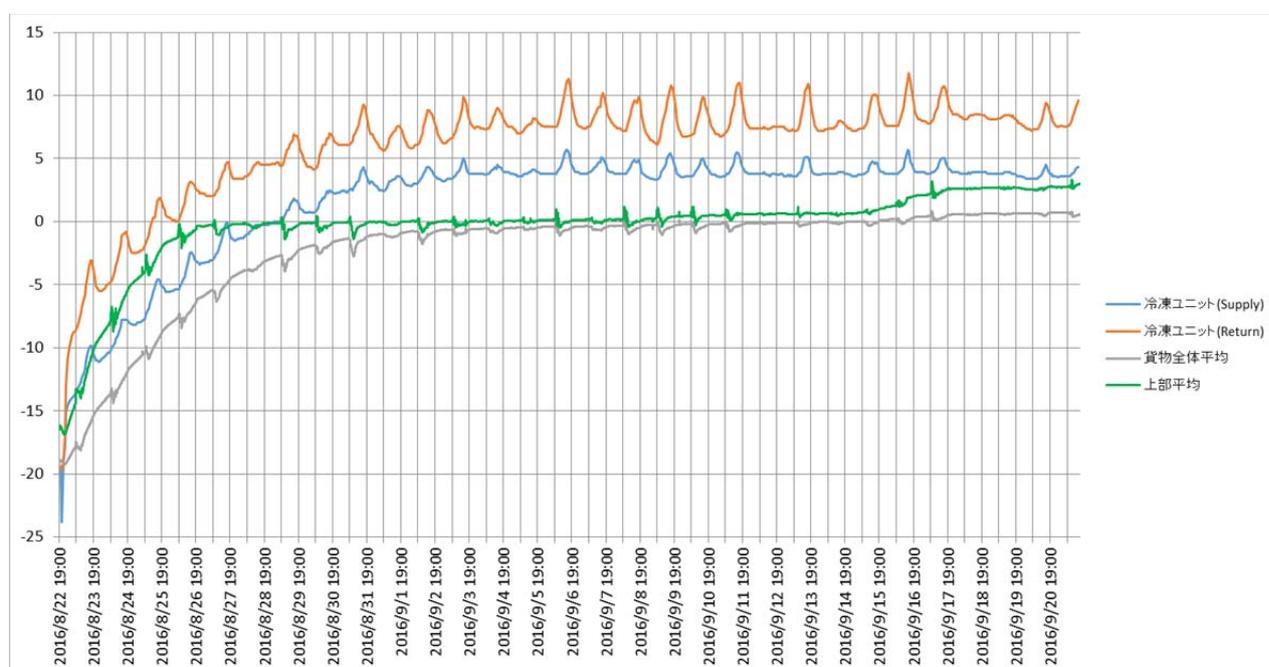
【図 35】 天井、床下温度と貨物全体平均温度の比較グラフ

温度上昇中は貨物全体平均よりも床下の温度の方が温度上昇は低い。これは貨物が氷の役割を果たし、冷たい冷気が底に集まるためである。

一方、天井付近の温度は貨物全体平均および床下温度と比較し、急激に温度が上昇し、加えて昼夜で温度変化が大きく変わっている。これは日中の太陽の影響が大きいものと思われる。これはインシュレーションで覆われている冷凍コンテナでも、日光の影響を受けることを示している。ところが貨物全体および床下が0℃に近づくと突然、5℃付近で安定した結果でている。5℃付近で安定し出した9月6日以降の天気を確認したが、特に曇りの日が続いていたわけではない。

考えられる原因として、氷が水に変わろうとする融解時の潜熱作用でコンテナ内の温度が0℃に安定し、その結果、天井付近の温度も0℃より少し高めな5℃で安定した可能性が考えられる。但し、この考えを裏付けるような文献等は発見することはできなかった。

下記は貨物全体平均と冷凍機のサプライ・リターンの温度記録比較である。



【図 36】 冷凍機温度と貨物全体平均温度の比較グラフ

通常、冷凍機の温度センサーはサプライがコンテナ奥パネルの下側、リターンが上部に設置されている。

計測結果から、貨物全体平均とサプライで最大約 5℃、貨物全体平均とリターンで最大約 10℃の温度差が記録されていた。

またリターンと貨物上部平均を比較しても、貨物上部平均温度はリターンの温度より低い傾向が見られた。

これらのことから、輸送中、冷凍機が停止し、船会社が温度チャートを提出した場合、通常はリターンの温度記録が提出されるため、船会社の温度チャート記録よりも実際の貨物温度は若干低い状態を保っている可能性が考えられる。

昨年度同様、温度上昇値を計算式で算出し、理論値と実測値の差を確認した。

その結果は下記の通りだった。

	外気温(°C)	計算上		実測
		貨物温度(°C)	温度上昇値(°C)	全体平均温度(°C)
8月23日	28.6	-17		-17
8月24日	27.8	-14.2	2.8	-13.1
8月25日	28.3	-11.6	2.6	-9.9
8月26日	28.2	-9.1	2.5	-7.2
8月27日	26.8	-6.8	2.3	-5.2
8月28日	24.6	-4.7	2.1	-3.6
8月29日	23.7	-2.9	1.8	-2.8
8月30日	22.8	-1.2	1.7	-1.9
8月31日	25.7	(0.3)	1.5	-1.5

【図 37】 温度上昇値計算結果

昨年度の比較の際、0°Cまでの温度上昇の計算値と実測温度はほぼ同じ傾向があったが、今回もほぼ同じ結果であった。

昨年度と比較し、本年度は早く温度上昇しているが、計算式の中に外気温がファクターとして含まれているため、結果として計算式と実測はほぼ同じ値を示すことが確認できた。

【参考】

計算式 : $T=Ux (T2-T1) xH / (GxSH)$

T: 貨物温度上昇

U: 熱貫入値 20ft 21 (貫入係数 x 表面積)

T2: 外気温度

T1: 庫内貨物温度

H: 時間

G: 貨物重量 16,240 kg

SH: 比熱 0.5 (貨物はほとんど水のため)

5. まとめ

3年間+追加1年に及んだ本実験も終了を迎えた。モデルではなく本物のコンテナを使用することで、これまで理論的に説明されていたドライコンテナの発汗や冷凍貨物の温度上昇現象を実際に確認することができた。実機を使用しているため、環境の再現には自然環境に依存するところが大きく、日本には四季があることで、様々な環境下で実験を行うことができた。その反面、時期を逃したり、温度センサーが故障したり、実験の再検証を行ったりするためには翌年まで実験を待たなければならない等があり、なかなか予定通りに進めることができなかった。

実施実験は本年度で終了するが、蓄積したデータの解析、検証は引き続き行い、輸送事故の軽減に活用する予定である。

以上