

(公 3 - 0 7) コンテナ貨物の損害に関する 調査研究

報 告 書

平成 2 7 年 3 月 3 1 日

一般社団法人日本海事検定協会

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) 床板シート張り実験	…4
	(2) 乾燥剤のコンテナ内設置効果	…6
	(3) 発汗現象の確認	…8
	(4) 発汗対策	…10
	4-2 冷凍コンテナ	
	(1) ドレンホールを開放した場合の温度変化の確認	…11
	(2) 冷凍機の設定温度をミスセットした場合の温度変化の確認	…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状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、本共同研究実施計画期間中（3ヵ年）に共同研究実施項目について共同実験者である下記5校と協議の上、実施する。

共同研究者

- 1) 大島商船高等専門学校
- 2) 神戸大学大学院海事科学研究科
- 3) 鳥羽商船高等専門学校
- 4) 弓削商船高等専門学校
- 5) 広島商船高等専門学校

共同研究実施項目

- 1) 冷凍・冷蔵コンテナ貨物の損害調査に基づいた実験と解析
- 2) 一般貨物の汗濡れ損害調査に基づいた実験と解析
- 3) 気象状況とコンテナ貨物の積み付け位置によるコンテナ貨物内の大気状況調査と実験
- 4) 各種気象状況下におけるコンテナ貨物庫内（冷凍・冷蔵コンテナを含む）の数値シミュレーションと実験結果の比較検討
- 5) その他、共同研究組織で必要と認めた研究

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(一)6.6℃と、実験するの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校内研究所位置

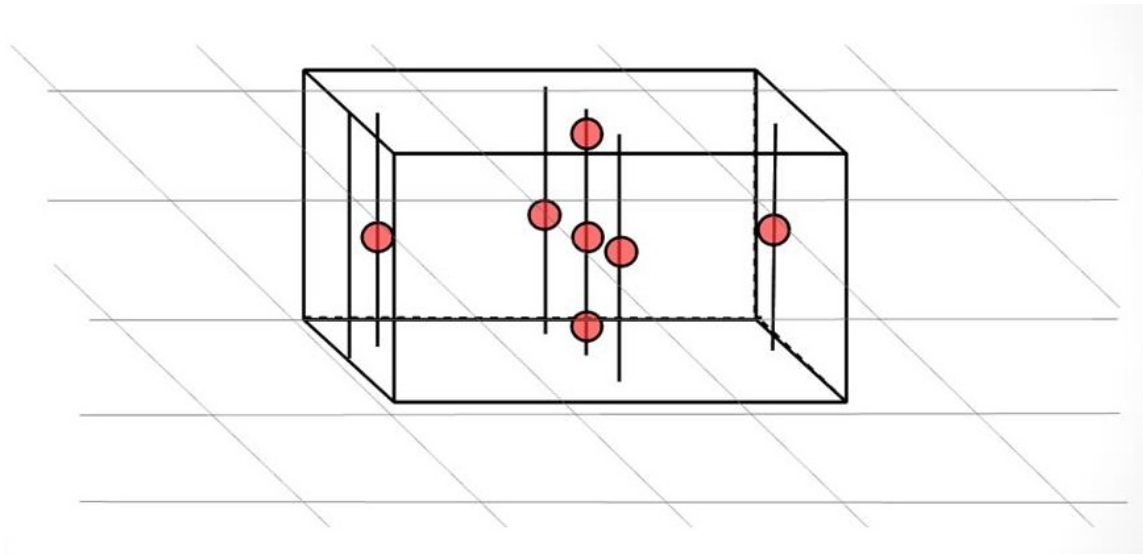


【図 3】 コンテナおよび実験棟配

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)を設置した。



【図 4】ドライコンテナ内のセンサー位置

(1) 床板シート張り実験

本実験の目的は、床板をビニールシートで覆い、コンテナ内空気中の水蒸気がコンテナ床板で湿度調整を行っているかどうか、およびその調整量の確認を行うことである。

実験期間は 10 月 31 日から 11 月 7 日の約一週間で行った。

実験は A コンテナを基準とし、C コンテナの床面をビニールシートで覆い、端はガムテープで固定した。

その結果、温度については A コンテナ、C コンテナに違いはなかったが、湿度は下記の通り大きな差が見られた。

	コンテナ番号	日付	最高湿度	最低湿度
1	A(基準)	11 月 1～2 日	86%	28%
2	C(ビニールシート)		94%	23%
湿度差(%)			8%(26g)	5%(73g)

コンテナ内の湿度が上昇しようとする、床板が露出している A コンテナは床板に湿度が吸収されコンテナ内の湿度は上昇せず、床板がビニールシートで覆われている C コンテナは床板が湿度を吸収しないため上昇を続けた。

一方、コンテナ内の湿度が下降すると、床板から湿度が供給されるため、A コンテナはコンテナ内の湿度が低くならず、逆に C コンテナは湿度が供給されないため下降を続けた。

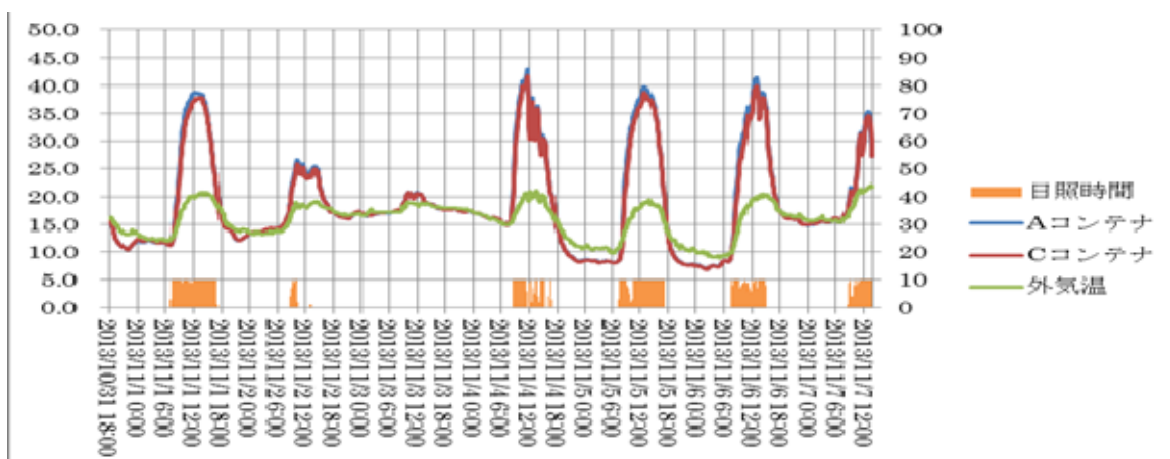
つまりコンテナ内の湿度は床板を通じて湿度を調整していることが判明した。



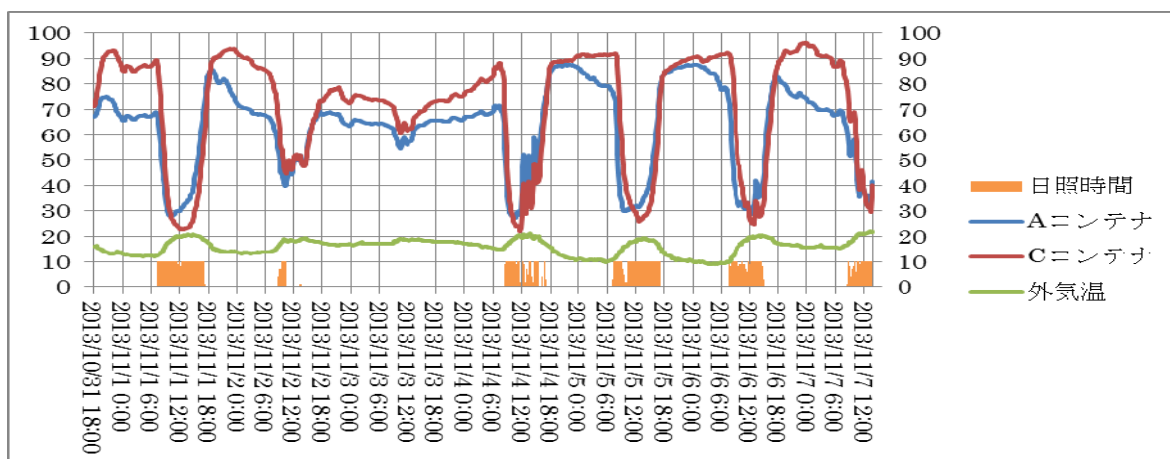
ビニールシート

床面をビニールシートで覆い、端はガムテープで固定

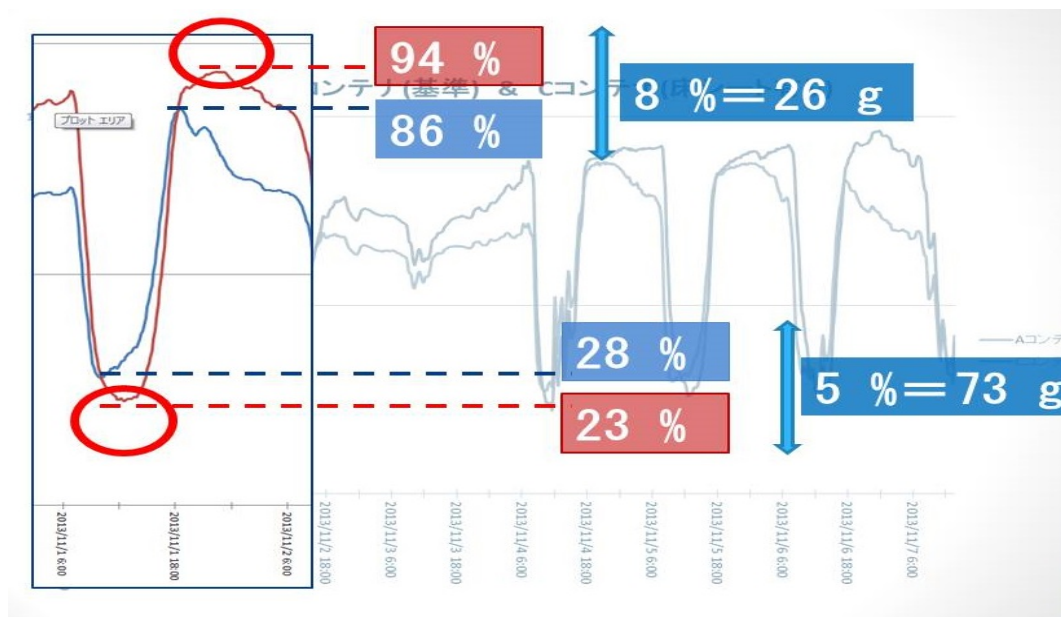
【図5】床板のビニールシート



【図6】AC コンテナ内の温度変化



【図7】AC コンテナ内の湿度変化



【図 8】 11 月 1~2 日の湿度変化差の関係図

(2) 乾燥剤のコンテナ内設置効果

輸入貨物(特に穀物類)は、乾燥剤がコンテナ内に設置されていることが多々ある。
 一方、先の実験でコンテナ内の湿度は床板を通じ、調整を調整していることが判明している。
 これらを踏まえ、本実験の目的は、密閉されていないコンテナ内に乾燥剤を設置した際、その効果があるのかの検証である。

使用した乾燥剤は塩化カルシウム(EX-DRY)で D コンテナの壁に 20 個吊り下げた。
 各コンテナの設置内容は下記の通り。



【図 9】 乾燥剤設置の状態

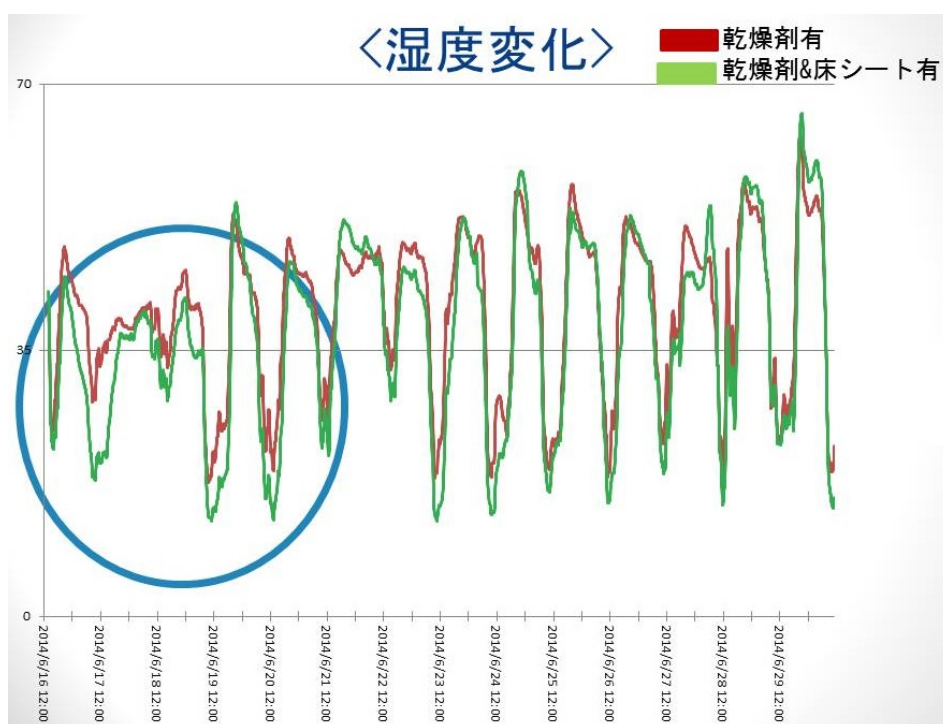
コンテナ番号	乾燥剤設置有無	床シート設置有無
A コンテナ(基準)	無し	無し
B コンテナ	有り	無し
C コンテナ	有り	有り

実験は2014年6月16日から30日の間で実施し、下記湿度の差が確認された。尚、温度に差はなかった。

	コンテナ番号	日付	最高湿度	最低湿度
1	A(基準)	6月24～25日	86%	27%
2	B(乾燥剤有り)		56%	18%
湿度差(%)			30%(139g)	9%(173g)

最高湿度で30%(139g)、最低湿度で9%(173g)、乾燥剤有りのコンテナの方が湿度が低いことが確認された。つまり密閉されていないコンテナ内でも乾燥剤設置の効果は十分にあることが確認された。

一方で「乾燥剤有り」のコンテナと「乾燥剤&床シート有り」のコンテナを比較したところ、下記の通りだった。



【図10】「乾燥剤有り」コンテナと「乾燥剤&床シート有り」コンテナの湿度比較

最初の2、3日は「乾燥剤&床シート有り」の方が湿度は低い傾向があったが、2、3日後には「乾燥剤有り」と「乾燥剤&床シート有り」のコンテナ湿度に差はなくなった。

一方で各コンテナの吸湿量(20 袋平均)を確認したところ、下記の通りだった。

	コンテナ番号	実験前	実験後	吸湿量
1	乾燥剤有り	452.3 g	639.2 g	186.9 g
2	乾燥剤有り&床シート有り	450.8 g	624.1 g	173.3 g
	吸湿量差			13.6 g

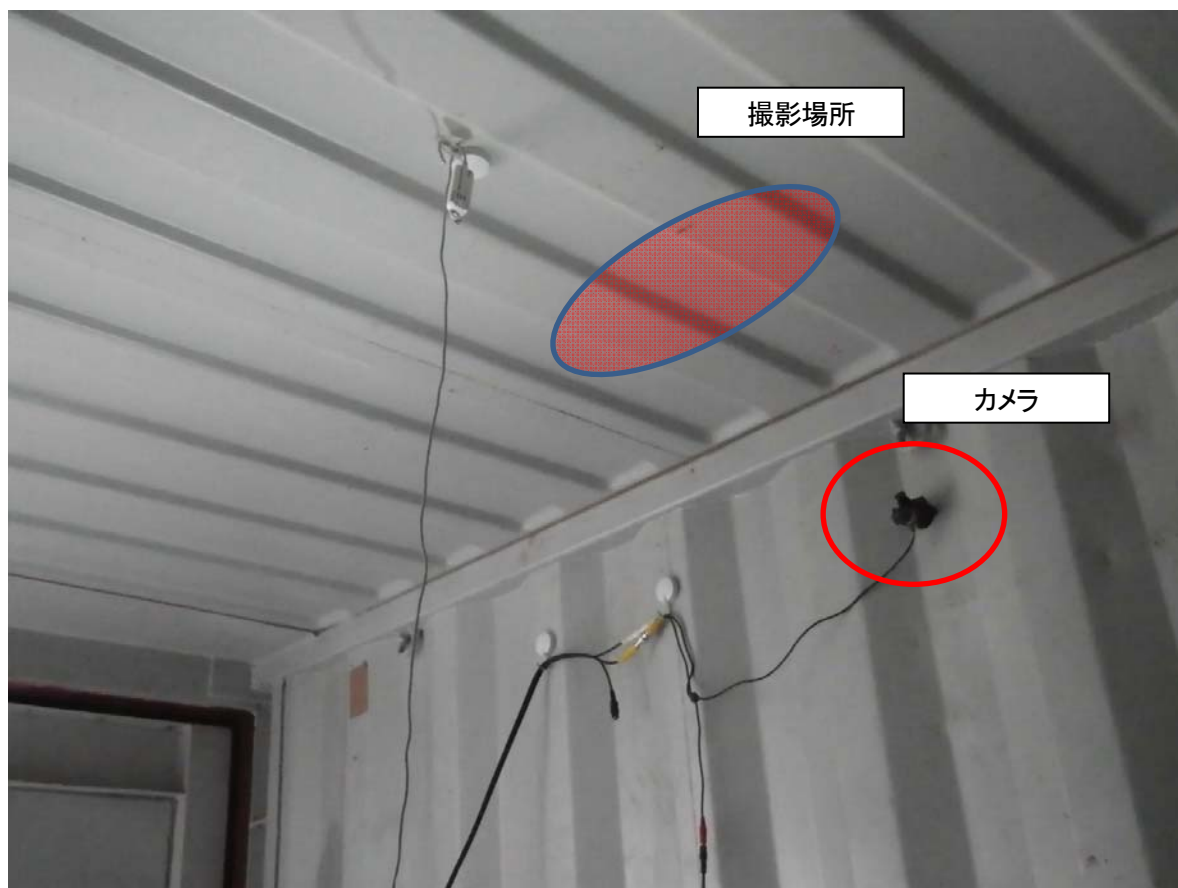
つまり乾燥剤有りで更に床シート有りの方が、湿度を抑える能力は同じでも乾燥剤が吸湿する量が低いため、乾燥剤の効果が長く続くことが確認された。

また乾燥剤有りのコンテナを継続して実験を行い、約 1 ヶ月後に乾燥剤の重量を再計測したところ下記の結果だった。

実験期間	吸湿量
14 日間	186.9 g
1 ヶ月	361.3 g

1 ヶ月経過後も吸湿能力は継続していた。 メーカーによれば約 750 g は吸湿が可能である。

(3) 発汗現象の確認



【図 11】 コンテナ内のカメラの設置状態

同実験は昨年も行ったが、その際、コンテナ内の気温が露点に到達していないに関わらず、汗が発生していた。

発汗のメカニズムを確認するため、今回は天井鉄板の温度も計測を行い、温度変化の確認を行った。結果は下記の通りだった。



【図 12】3 月 21 日 02:00 頃の天井写真(発汗あり)



【図 13】コンテナ内、天井鉄板と露点温度の関係

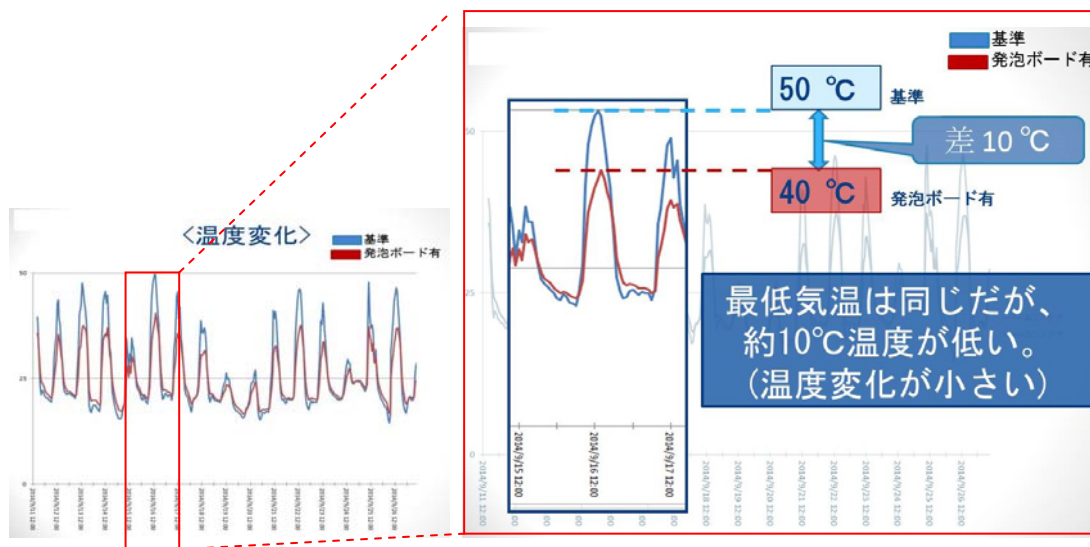
コンテナ内の温度は前回と同じく露点に達していなかったが、天井鉄板は露点温度に達していた。その結果、天井表面に汗が発生していることが判明した。これは鉄の熱伝導率は高く、その結果、天井周辺だけ温度が急激に下がり、露点に達したことを示している。

(4) 発汗対策

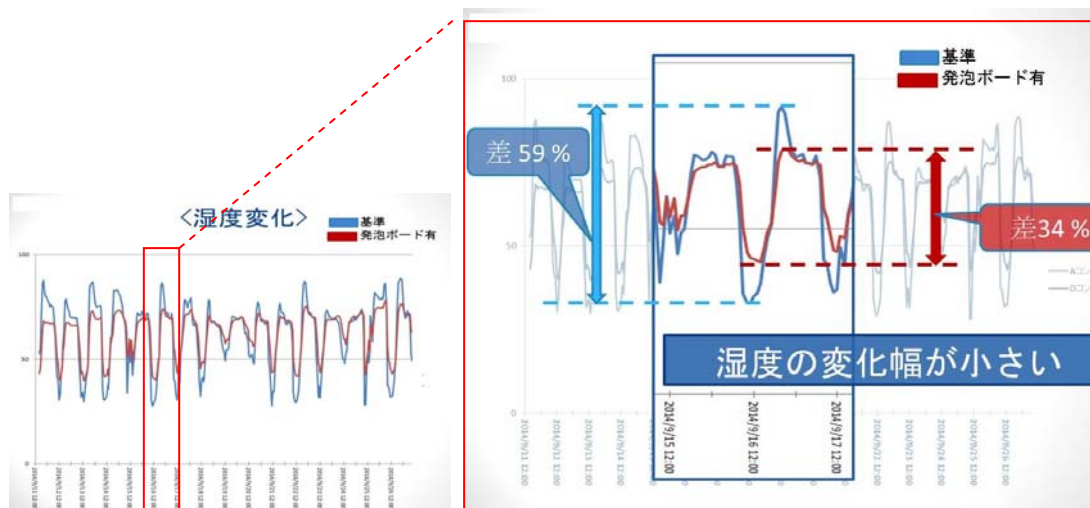
コンテナ内の発汗対策として、コンテナ内の最高温度を下げ、温度・湿度の変化を抑制し、発汗を抑えることができないかの検証を行った。

今回使用した材料は厚さ 50mm の発泡スチロールボードで、このボードを断熱材として、コンテナ内壁を覆い、温度と湿度の変化を確認した。

基準コンテナと発泡スチロールボードコンテナの温湿度の差は下記の通りだった。



【図 14】温度変化の比較グラフ



【図 15】湿度変化の比較グラフ

温度に関しては、基準コンテナが 50℃に対し、発泡ボードコンテナは 40℃と低く (約 10℃の温度差)、湿度に関しては最高湿度と最低湿度の差が基準コンテナは 59%、発泡ボードコンテナが 34%と湿度の変化量を抑制することができた。

これらの結果から、ドライコンテナ内に発泡ボードを設置することで、最高温度と湿度変化を抑制し、発汗を抑えることが確認できた。 但し、調達コストが高額になることと穀物等、発汗する可能性が高い貨物を輸出する発展途上国での入手方法を検討する必要がある。

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）と冷凍エビをコンテナに詰め、温度センサーを 35 箇所を設置し、実験を行った。

センサーの配置等は下記の通り。



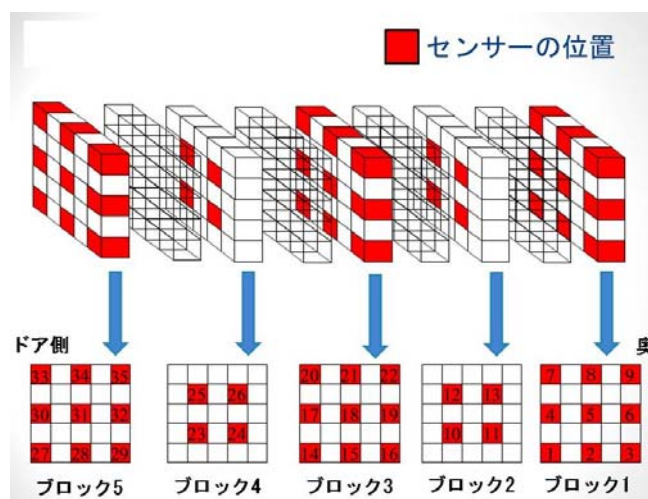
【図 16】 冷凍コンテナ内の貨物の状態



【図 17】 貨物への温度センサー設置作業



【図 18】 同上

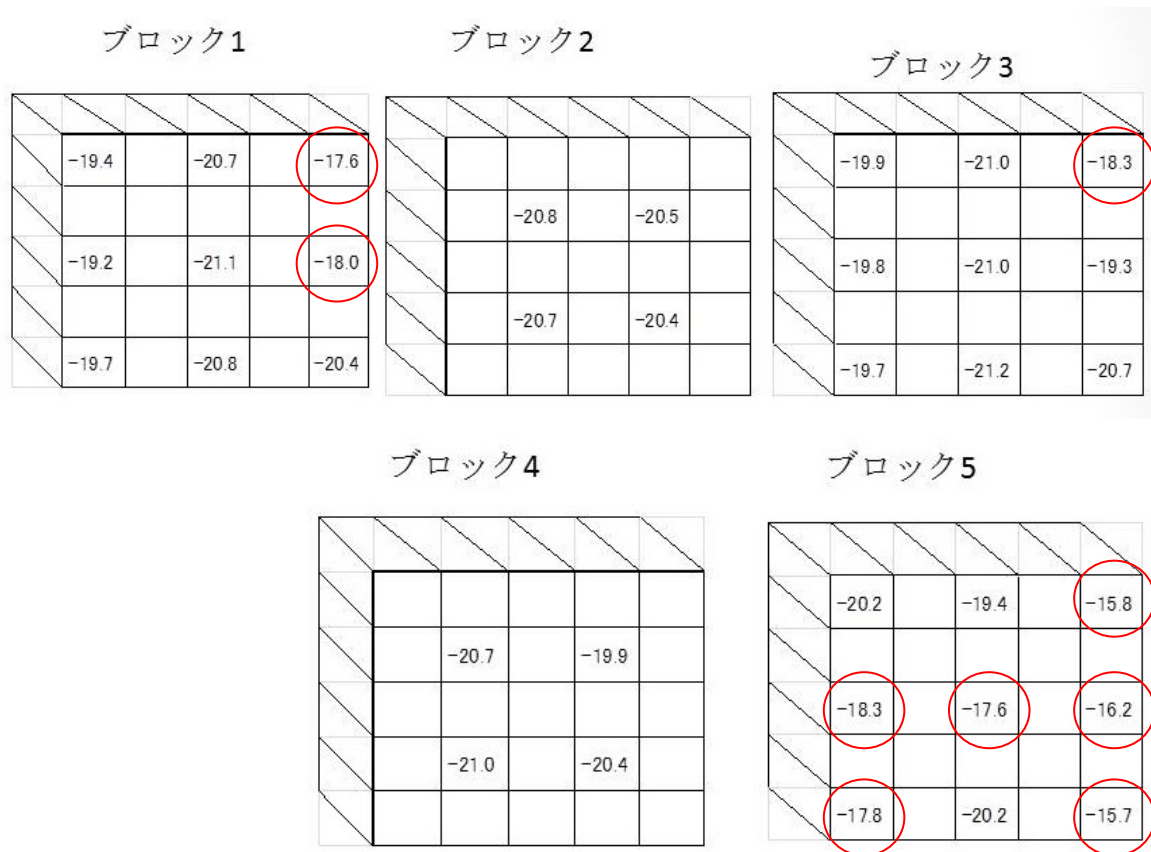


【図 19】 センサー配置図

(1)ドレンホールを開放した場合の温度変化の確認

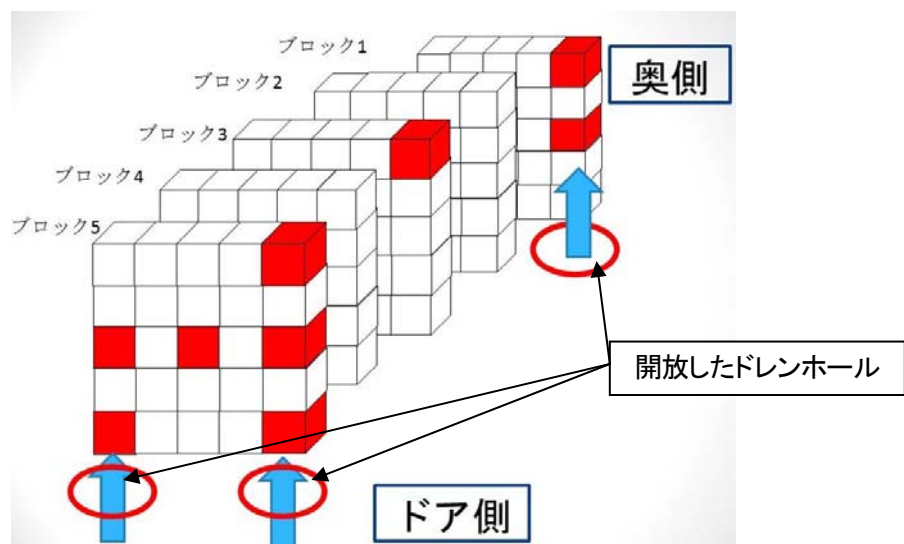
ドレンホールの閉め忘れによる輸送事故を想定し、ドレンホールを開放することで、コンテナ内の貨物がどの程度の影響を受けるのかについて、調査を行った。

開放期間は8月11日から26日(15日間)で、8月26日に状態を貨物の温度を確認した結果は下記の通り。



【図 20】 各貨物の温度記録

上記赤丸は温度が-18°C (冷凍機設定温度) 以上に上昇した温度センサーの位置で、ドレンホールとの位置関係は下記の通りだった。



【図 21】 ドレンホールと温度上昇貨物の位置関係

開放したドレンホール直上の貨物が顕著に温度影響を受けることが判明した。

コンテナの状態は、ドア側のドレンホールは氷が発生し閉鎖、冷凍機側のドレンホールはコンテナ内から冷気が吹き出していた。

ドア付近は右天井角に氷が発生し、同様にドアとドアのつなぎ目部分にも氷が発生していた。

ドア側ドレンホール付近は床のレールに沿って、氷が発生していた。

これらのことからドレンホールより侵入した外気(暖かい空気)がコンテナ内で冷却され、氷になったものと推定する。



【図 22】 ドア側ドレンホール(氷で閉鎖)



【図 23】 冷凍機側ドレンホール(中から冷気放出)



【図 24】 コンテナドア右上に氷発生



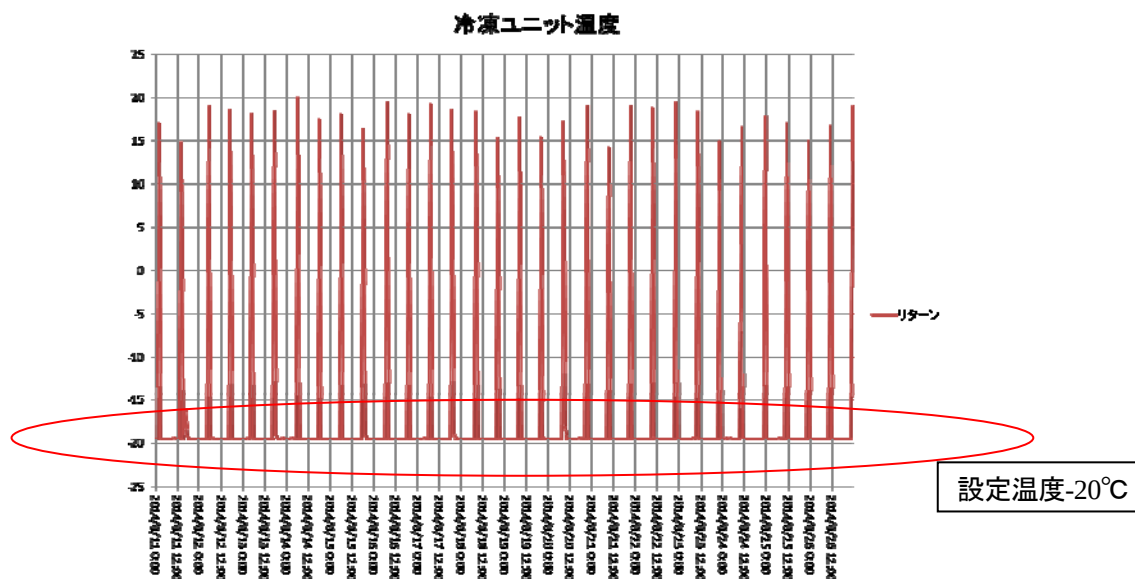
【図 25】 ドアとドアのつなぎ目に氷発生



【図 26】 ドレンホールとそのレールに氷

また冷凍機の温度記録を確認したところ、貨物温度に影響及びコンテナ内に外気による氷が発生しているにも関わらず、冷凍機の温度記録に異常は記録されていなかった。

これらのことから、ドレンホール閉め忘れでコンテナが到着し、貨物に異常が発生しても、冷凍機の温度記録上に異常が示される可能性は低いことが判明した。

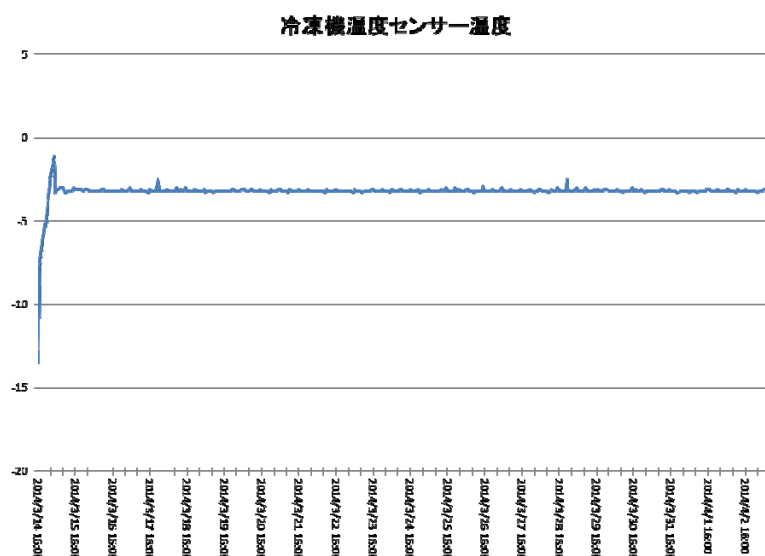


【図 27】 冷凍機の温度記録

(2) 冷凍機の設定温度をミスセットした場合の温度変化の確認

本当は-18℃で運送しなければならない貨物を、-3℃設定で運送した場合、貨物にどのような影響があるのかを調査した。

実験期間は3月14日から4月1日で、下記は温度センサーの温度記録となる。

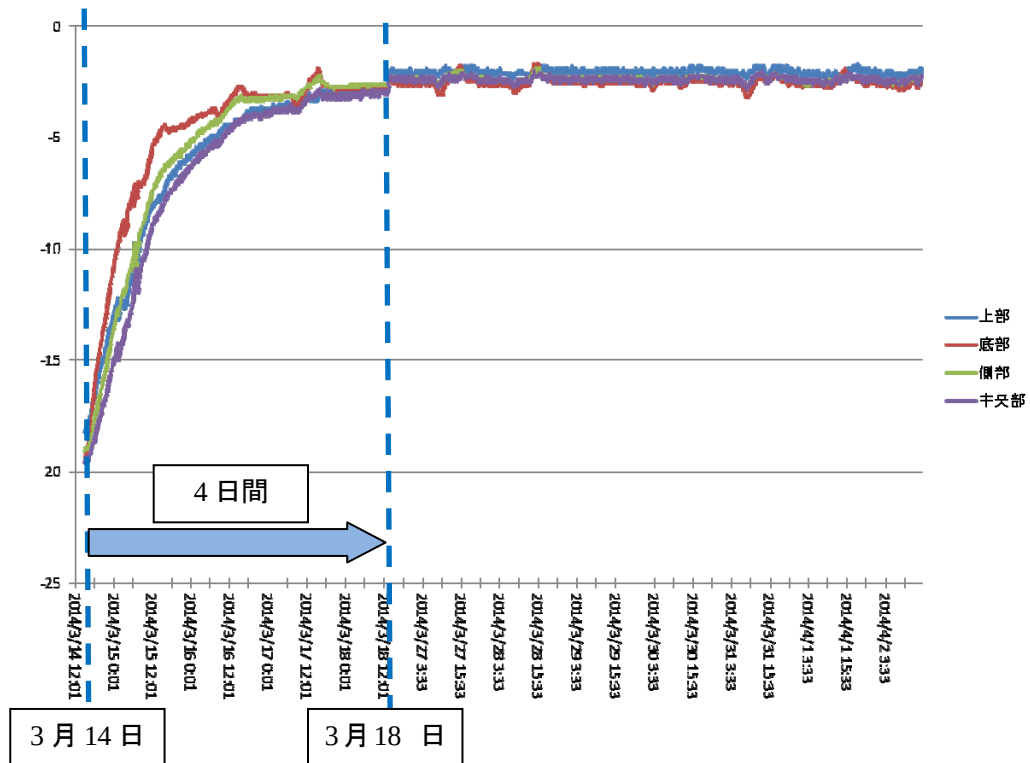


【図 28】 冷凍機の温度記録

-3℃設定は冷凍機の運転モードで「チルドモード」になる。

チルドモードの際、冷凍機の温度記録は「サプライセンサー」を使用する。つまり設定温度の-3℃が記録されるため、冷凍機の温度記録はコンテナ内の温度を示していない。

一方で貨物の温度は下記の通りだった。



【図 29】 貨物の温度記録

約 4 日間で -18°C だった貨物温度は設定温度の -3°C へ達した。 昨年度に報告した冷凍機を停止した場合と比較し、大幅に早い温度上昇である。 これは -3°C は氷点下の温度ではあるが、 -18°C と比較すると高温になる。 つまり、 -18°C の貨物に暖かい -3°C の温度が吹き付けられたため、結果として温度上昇が早くなったことを示している。

一方で 4 月 1 日に中の貨物の状態を確認したが、冷凍エビに謙虚な影響は確認できなかった。



【図 30】 4 月 1 日の冷凍エビの状態(特に異常なし)

ここで一旦、本実験は終了とし、次実験のため、貨物を再度-20℃設定で凍結した。

ところが貨物温度が-20℃で落ち着き、コンテナを開けて、中の冷凍エビを再確認したところ、ミスセット時には問題なかった貨物表面に、大量の霜、及びドリップが発生していた。

これは緩慢解凍から緩慢凍結に至ったことにより、貨物表面に霜が発生し、エビの背わたの成分がにじみ出てドリップが発生したものと推定した。

つまり冷凍貨物にて出荷時に問題なく、到着時に大量に霜が付着している場合は、輸送中に緩慢解凍及び緩慢凍結が発生している可能性が高いことが確認された。

尚、霜が発生した貨物を解凍したところ、殻と身の間に隙間が見られたが、味に大きな問題はなかった。



【図 31】 貨物表面の霜の状態



【図 32】 同上



【図 33】 同上



【図 34】 ドリップ発生



【図 35】 解凍後のエビの状態



【図 36】 同上

5. まとめ

昨年度前半はコンテナの設置に時間を要し、本格的な実験は 9 月以降となったが、本年度は年初からドライコンテナ、冷凍コンテナ共に実証実験を行うことができた。

しかしながら計測器の故障、想定外の実験結果等で全ての検証を行うことはできなかった。

来年度は 3 年計画の最終年度となる。計測器も一新し、冷凍貨物の種類も変更し、海上輸送中に発生する可能性がある事故を再現し、その対策を検討する予定である。

以上