(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28年3月31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) 木材パレットの水分によるコンテナ内湿度影響確認実験	4
	(2) コンテナ船オンデッキ積みとアンダーデッキ積みを想定した 比較実験	6
	4-2 冷凍コンテナ	
	(1) 冷凍機が停止した際の貨物温度変化の確認実験	11
	(2) エバポレーターファンを片側だけ停止した際の貨物温度変化の 確認実験	14
	(3) 貨物を積み上げ過ぎた場合の貨物温度変化の確認実験	
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、ドライコンテナで輸送される一般貨物の汗濡れ損害と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(-)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校内研究所位置

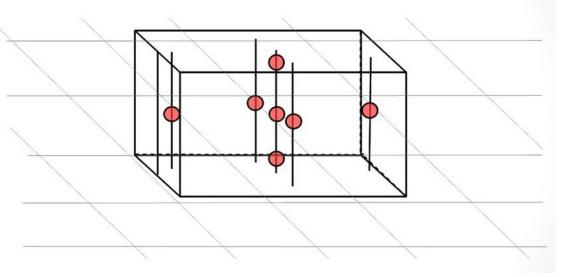


【図3】コンテナおよび実験棟配置

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)を設置した。 尚、本年度より温湿度計を無線式センサーへ変更した。



【図 4】ドライコンテナ内のセンサー位置



【図5】無線式温湿度センサー

(1) 木材パレットの水分によるコンテナ内湿度影響確認実験

輸入貨物、特に鉄製の貨物をドライコンテナで輸入した際、梱包に使用した木材から発する 水分の影響で貨物が錆びやすい傾向がある。

本実験は、含水率の違う木材パレットをそれぞれのコンテナへ設置し、パレット含水率の違いによりコンテナ内の湿度にどの程度影響があるのかを検証することを目的とした。

パレットは通常の含水率のものと意図的に水をかけて水を浸透させたパレット(高含水率パレット)の 2 種類を用意した。

通常と高含水率のパレットから各 1 枚を選び、それぞれに木材水分値記録計を設置し、実験開始から終了までの含水率の経過を記録した。

また内部は実際の貨物を想定し、段ボール箱を積み重ね、側面をシュリンク巻き、段ボール箱内に鉄製の缶詰、釘、ダクト等を設置した。



【図6】実験用のパレット



【図8】貨物を想定した缶詰



【図 7】パレットに水をかけてブルーシートをかけ、 一晩ねかした。



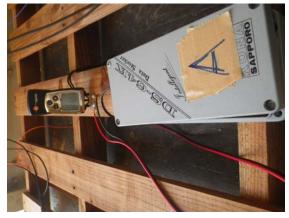
【図 9】同上(ダクト、釘)



【図 10】コンテナ内の段ボール箱

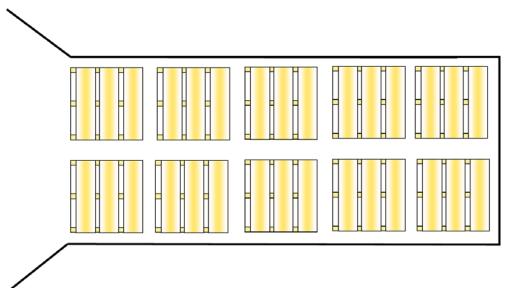


【図 11】作業完成の状態



【図 12、13】木材含水率記録計

パレットのコンテナ内配置は下記の通りで、実験開始時に各パレット5箇所の含水率を計測 した結果、下記のとおりだった。



【図 14】パレットの配置

A コンテナ(通常含水率パレット): 平均 19%

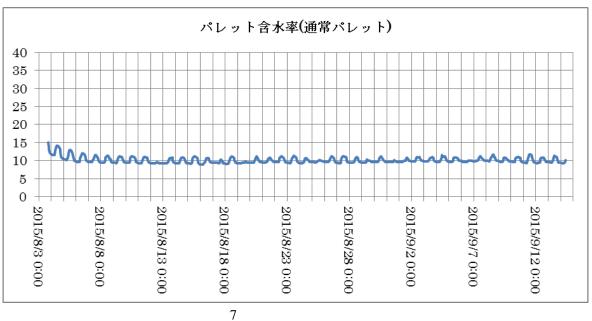
19		18.5	20		19.5	20.5		19.5	17		19	1	7.5		17
	22			22			20			19				19.5	
22.5		19	16		17.5	18.5		16.5	19		18.5	1	7.5		16.5
19.5		15	21.5		25	17		19.5	16.5		14.5		15		12.5
	18			61.5			23			22.5				24	
19		13.5	19.5		18	15		17	19.5		18		18		12.5

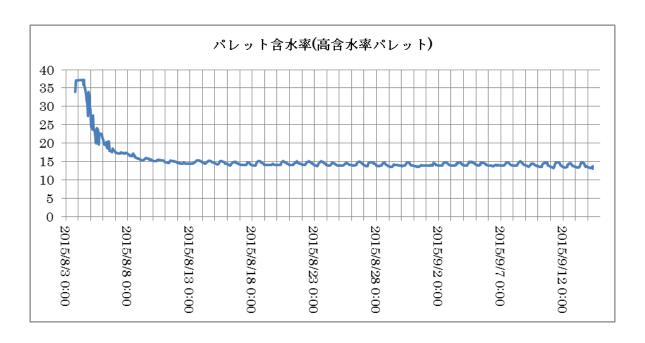
Bコンテナ(高含水率パレット): 平均 29%

21.5		23.5	20		21	20		22	49.5		17	19.5		19.5
	46			52.5			55			55.5			54	
24.5		45	14.5		14.5	20.5		20	34		20	23		13
24.5		20	23.5		24.5	21		22	32		23	20		23.5
	22			67			54			24.5			65.5	
18.5		13.5	23		48	19		52	19.5		31.5	21		20

実験開始時、パレットの含水率は、通常含水率のパレットが平均 19%、高含水率のパレット が平均 29%だった。

実験は2015年8月3日から開始し、9月14日に終了した。 期間中のパレット含水率の推移は下記のとおりだった。

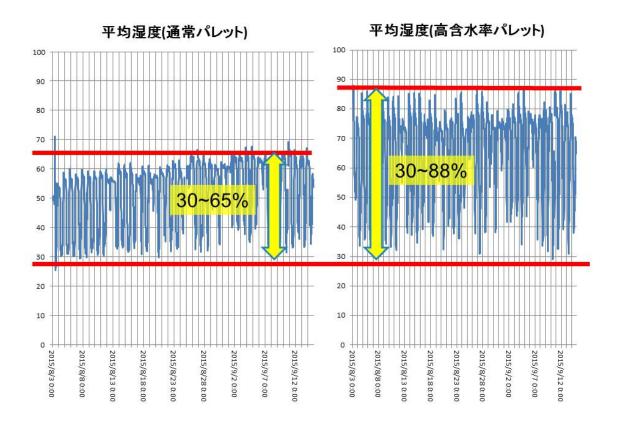




通常パレットは、計測初日が 15%、それから徐々に含水率は降下し、3 日後には約 10%まで落ち、その後は 10%で安定していた。

高含水率パレットは、計測初日が約37%、通常パレットと同様に徐々に含水率は降下、約15%で安定していた。

一方、コンテナ内の湿度変化は下記のとおりだった。



上記グラフが示す通り、通常パレットを積載したコンテナと高含水率のパレットを積載したコンテナを比較すると、高含水率のパレットを積載したコンテナのほうが湿度変化の幅が大きい結果となった。

また段ボール箱に積載した仮想貨物(缶詰、釘、ダクト)の実験後の状態は下記のとおりだった。



【図 15】通常パレットの缶詰側面



【図 16】通常パレット



【図 17】高含水率パレットの缶詰側面



【図 18】高含水率パレットの缶詰底(錆発生)



【図 19】高含水率パレットのダクト裏側(発汗)

通常パレットを積載したコンテナの貨物は、缶詰側面のラベルに若干の発汗が発生していたが、その他の釘、ダクトには顕著な発汗は見られなかった。

一方、高含水率のパレットを積載したコンテナの貨物は、缶詰側面に大量の汗が発生し、缶 詰の底は錆が発生していた。

またダクト内側にも大量の汗が発生していた。

これらのことから、通常パレットと高含水率のパレットを積載したコンテナを比較すると、高 含水率のパレットを積載したコンテナの方が、コンテナ内の湿度変化幅が大きく、空気が安定 しておらず、汗もかきやすい環境であることが確認できた。

(2) コンテナ船オンデッキ積みとアンダーデッキ積みを想定した比較実験

コンテナ貨物を海上輸送する際、発汗の影響をうけやすい貨物はコンテナ船のアンダーデッキ積載を船会社へ要請することがある。

これを踏まえ、コンテナ船のオンデッキとアンダーデッキ積みでどの程度、輸送環境に違いが生じるのかを検証した。

今回は仮想アンダーデッキを再現するため、コンテナ全体をトタン板で覆い、輸送環境を再現した(オーニングコンテナ)。

これに加え、オンデッキコンテナ(通常コンテナ)とアンダーデッキコンテナ(オーニングコンテナ)にそれぞれビデオカメラを設置し、発汗の様子も確認を行った。

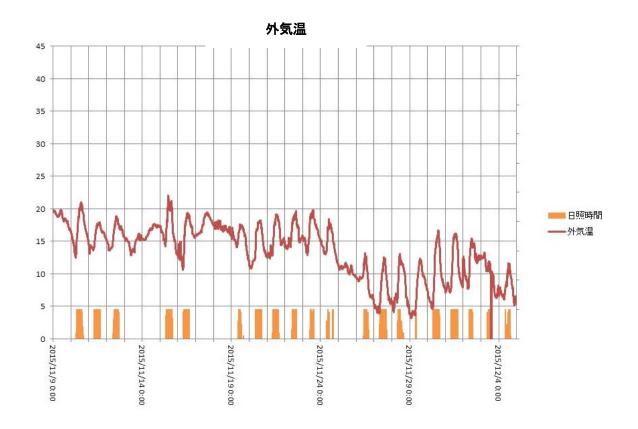


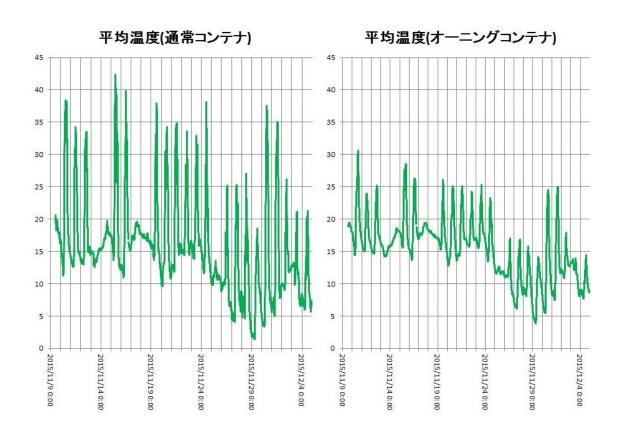
【図 20】オーニングコンテナ

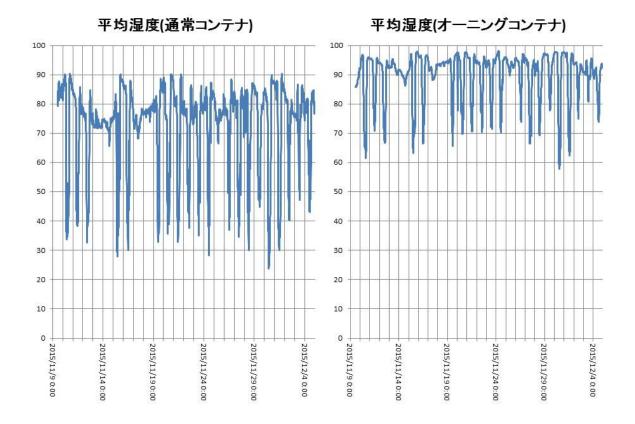


【図 21】発汗ビデオ撮影

実験期間は2015年11月9日~12月4日で、実験の結果は下記の通りだった。







実験期間中の外気温は 3.2~22.0°Cに対し、通常コンテナは 1.4~42.4°C、オーニングコンテナは 3.8~30.6°Cと、通常コンテナよりもオーニングコンテナの方が、最高気温が約 12°C低いことが確認された。

また湿度変化を比較しても、通常コンテナが 23.7~90.4%、オーニングコンテナが 57.9~98.1%とオーニングコンテナの方が湿度の変化幅が小さい結果となった。

続いてコンテナ内の発汗の状態は下記の通りだった。



【図 22】通常コンテナ天井(発汗あり)

【図 23】オーニングコンテナ天井(発汗なし)

同日同時刻の映像を比較しても、通常コンテナは発汗し、オーニングコンテナは発汗していないことが確認できた。

これらのことからコンテナ船輸送中、コンテナをアンダーデッキに積載することで温湿度の変化幅を押さえることができ、発汗抑制の効果があることが確認できた。

ただし、コンテナヤード保管中も日射の影響を受けるため、アンダーデッキ積みを行っても 発汗対策を施す必要がある。

4-2 冷凍コンテナの実験

仮想貨物は清水20リットル入りポリタンク(カートン入り)は変わらないが、本年度は冷凍エビから冷凍牛肉に貨物を変更、温度センサーを35箇所に設置し、実験を行った。 センサーの配置等は下記の通り。



【図 24】貨物を積載した状態



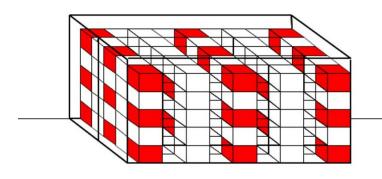
【図 26】冷凍エビ



【図 25】貨物詰め替え作業

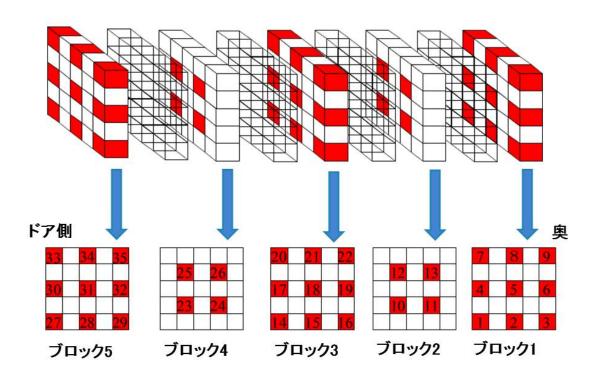


【図 27】冷凍牛肉

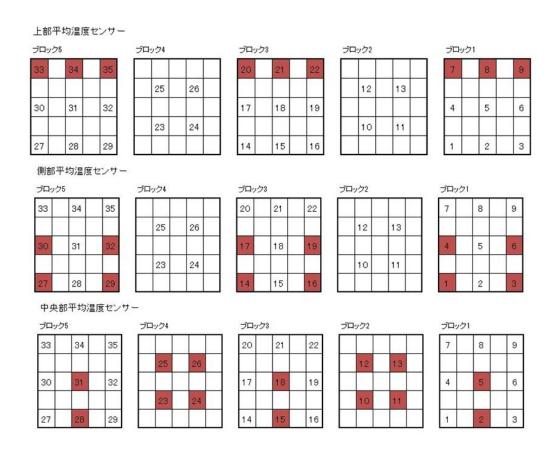


【図 28】冷凍コンテナ内の温度センサー配置

センサーの位置



【図 29】 センサー配置図



【図30】 上部、側部、中央部の温度センサー平均値の取り方

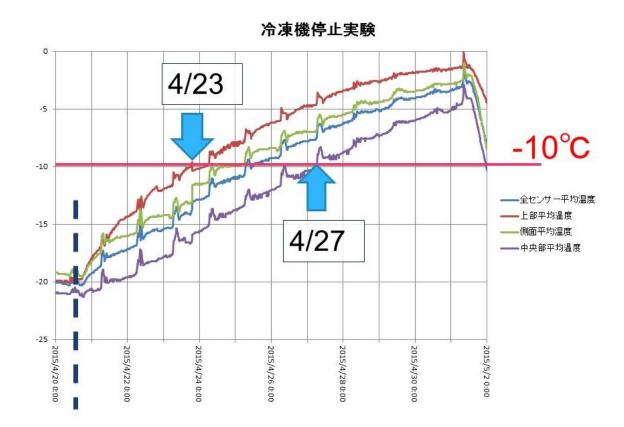
(1) 冷凍機が停止した際の貨物温度変化の確認実験

冷凍貨物輸送中に冷凍機が故障した場合を想定し、冷凍機を停止し、コンテナ内で貨物 温度がどのように上昇するのか確認した。

尚、平成25年度に同様の冷凍機停止実験を行ったが、その際は秋から冬にかけて温度が低下する時期に行った。

今回は2015年4月20日から5月1日の温かい時期に実験を行った。

実験の結果、貨物の温度変化は下記の通りだった。



温度変化は上部、側面、中央部平均にフォーカスし、検証を行った。

4月20日から冷凍機を停止し、まず4月23日に上部平均が-10℃まで温度上昇し、中央部平均が一番遅く-10℃に到達した。

前回計測と比較すると約半日ほど温度上昇が早かった。

つまり冷凍機が停止している場合、外気温の影響を受けて温度上昇が早くなることが確認できた。

これらに加え、今回は温度上昇の計算値が実際の数値とどの程度違いがあるか、検証した。

温度上昇値の計算式は下記の通り。

T=Ux(T2-T1)xH/(GxSH)

15

【係数解説】

T: 貨物温度上昇 U: 熱貫入値 T2: 外気温度 T1: 庫内貨物温度

H: 時間 G: 貨物重量 SH: 比熱

この温度上昇値の計算式は航空貨物で冷凍・冷蔵品を運搬する際、ドライアイスの量を 算出するのによく使われている式である。

今回は20ft コンテナで貨物がほとんど水であることから、係数に下記数値を使用し、温度上昇値を計算した。

U:熱貫入値 21 (20ft:21 / 40ft:38 / 40ft HQ:40)

G:貨物重量 16,240 kg

SH: 比熱 0.5 (貨物はほとんど水のため)

計算値と実測値の結果は下記のとおりだった。

		計算		
	外気温(℃)	貨物温度	温度上昇	全体平均温
		(°C)	(°C)	度(℃)
4月20日	16.3	-20.0		-20.0
4月21日	13.8	-17.7	2.3	-17.9
4月22日	13.4	-15.7	2.0	-15.9
4月23日	13.6	-13.9	1.8	-14.2
4月24日	15.2	-12.2	1.7	-11.5
4月25日	15.3	-10.5	1.7	-9.8
4月26日	15.7	-8.9	1.6	-8.3
4月27日	17.7	-7.4	1.6	-6.8
4月28日	17.7	-5.8	1.5	-5.3
4月29日	18.6	-4.3	1.6	-4.2
4月30日	16.5	-2.9	1.5	-3.6
5月1日	17.6	−1 .5	1.4	-2.6

計算値と実測値はほぼ同じだった。

これらのことから冷凍機が停止した場合、貨物の温度上昇は計算式である程度推測できることが確認できた。

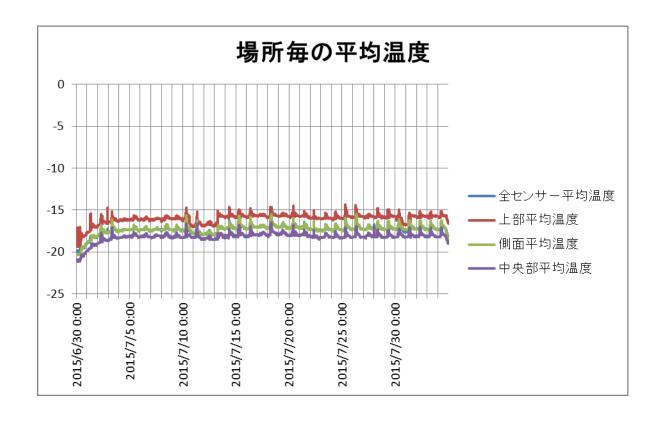
(2)エバポレーターファンを片側だけ停止した際の貨物温度変化の確認実験

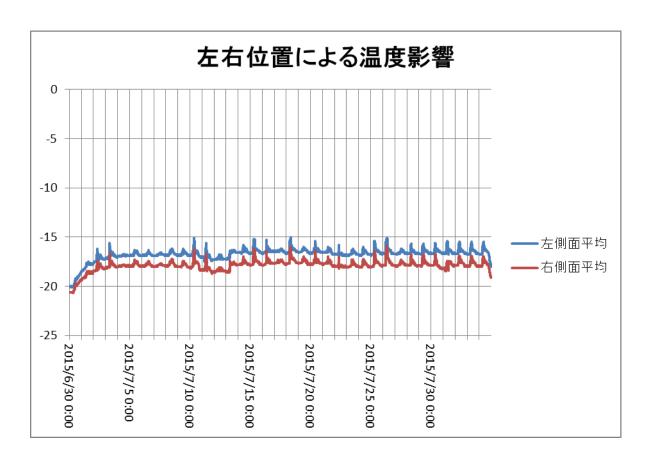
通常、冷凍機が作動している場合、エバポレーターファンは2台同時に稼働している。 今回、その内の1台を強制的に停止し、冷凍能力を半減させると貨物にどのような影響 が及ぶのか、確認を行った。



【図31】エバポレーターファン

実験期間は2015年6月30日から8月3日で、左側のエバポレーターファンを停止した。 実験期間中の温度変化は下記のとおりだった。

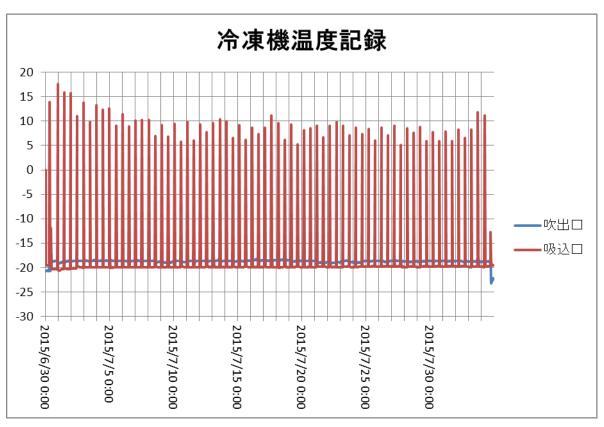




場所ごとで比較すると、上部平均が温度上昇が一番高く、中央部平均が一番低い結果となった。

更に左右の温度センサー平均を見ると、エバポレーターファンを停止した左側の方が、 温度上昇が高い結果となった。

加えて冷凍機の温度チャートを確認したところ、下記の結果だった。



冷凍モードで稼働している場合、通常、吹出口の温度を低くし、吸込口の温度を設定温度に合わせる。

通常、船会社へ温度チャートの提出を依頼すると吸込口の温度記録が提出される。

ところが、温度チャートを見ると吸込口の温度はほぼ設定温度を示していたが、吹出口の温度は吸込口より高い結果となった。

これはエバポレーターファンを片側だけ停止したことにより、コンテナ内の冷気の循環が歪んでしまったことを示している。

また実験後、コンテナ奥のパネルを開けたところ、エバポレーターファン直下のフィンの下が氷で固結していた。





【図 32】【図 33】実験後のエバポレーターファン直下に氷が大量に発生

これらのことからエバポレーターファンが停止すると、停止した側の貨物が温度影響を 受け安いが、冷凍機の温度チャートだけを確認しても、冷凍機に異常があったかどうか、 判断することは難しいことが確認できた。

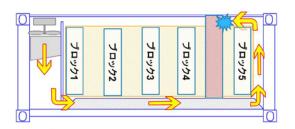
(3)貨物を積み上げすぎた場合の貨物温度変化の確認実験

コンテナ内壁上部には冷気の通り道を作るため、貨物積み上げ高さの上限が記されている。

ただし、実際の輸送の際、貨物をなるべく積載するため、上限を超えて貨物が積まれて くることが多々発生している。

そこで本実験は貨物を高く積み上げることで、強制的に壁を作成し、コンテナ内の冷気にどのような影響があるのかどうか確認を行った(実験期間:2015年10月19日から11月20日)。

【実験のイメージ】



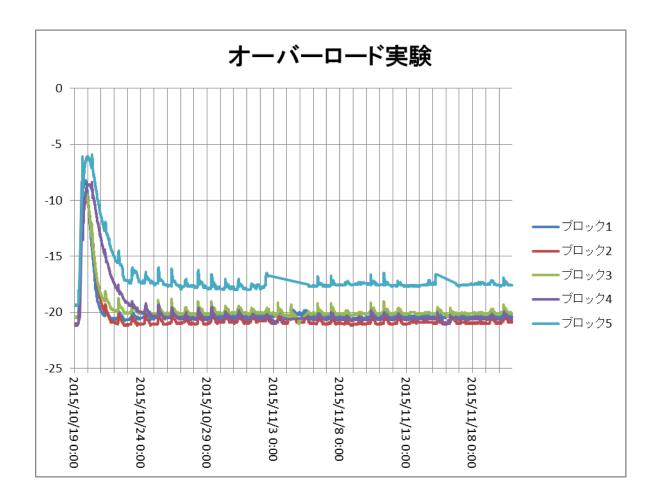
段ボール箱でブロック4と5の間に壁



【図 35】壁の状態

【図34】壁の配置図

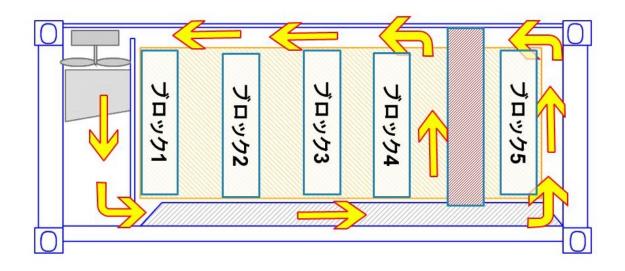
実験の結果は下記のとおりだった。



ブロック4と5の温度が上昇し、特に壁の奥側になるブロック5は顕著に温度影響を受けていることが確認できた。

これらのことからコンテナ内の冷気の流れは下記のような影響を受けたものと判断した。

【ショートサーキットの冷気イメージ図】



冷気の流れは壁のところで分散し、その結果、ブロック 5 の貨物は温度が上昇したものと推定した。

実験前と実験後の牛肉の状態(ブロック 5 の貨物)を確認したところ、下記のとおりだった。



【図 36】実験前の冷凍牛肉



【図37】実験後の冷凍牛肉(霜発生)

実験後の牛肉は大量の霜が付着していた。 温度上昇の影響を受けたことは明らかだった。

5. まとめ

実際の事故を想定した実験を多数行うことができたが、新型の無線式温度計のバッテリー問題、及び集計に時間を要したことで実験数がかなり限られた。

本年度で実験は終了の予定だったが、もう1年延長し、事故のデータを集積する予定である。

以上