Dry Container 内各部の温度分布について III

遠藤 雄介*・木村 隆一**・今枝 彬郎***

Temperature Distribution in a Dry Container III

Yusuke ENDO, Ryuichi KIMURA and Yoshiro IMAEDA

Abstract

Under direct summer solar radiation, cargoes in containers seem to be heated up to a pretty high temperature and be apt to take sweat damages or deterioration, so it is important to know how high the temperature in containers rise.

Authors carried out the transit experiment of 20' dry container filled with high strength calcium hypochlorite drums on an Australian line container vessel to investigate temperature responses of the inside and the outside of container and sea climate condition.

In this paper, authors discussed the results of experiment and of numerical calculations of temperature responses of the inside of container in transit from July to September.

1. は じ め に

夏期, 直射日光にさらされたコンテナの内部貨物は相当高温となり, この結果汗ぬれ, 劣化等を生じ易くなる。従って高温を好まない貨物などの輸送に対しては, どの程度までコンテナ内の温度が上昇するかを知っておく事は重要と考えられる。

前報⁽¹⁾では, 50 kg ドラム入り高度さらし粉を用い, 冬期における熱帯地方への輸送並びに現地陸上でのコンテナ内外の熱応答の計測を実施した。その結果, 輸送中においては赤緯が負であることも加わり, 南進するに従ってドラム内製品中心温度は 30°C 程度まで, 比較的速く昇温すること, 並びに陸上では日本の夏期程度の条件下での応答となることが判った。

今回, 夏期の横浜～東オーストラリア航路上において, 製品積込段数を変更したコンテナを用い, 往復輸送中におけるコンテナ内外の熱応答, 海上気象条件を計測した。さらに, これらのデータをもとに, 数値計算による7～9月期の輸送中のコンテナ内熱応答について検討したので報告する。

2. 実 験 方 法

実験は, 表面無塗料のアルミニウム製ハイキュービック・ドライ・コンテナ (8'×8.5'×20') を用いて行なった。前報⁽¹⁾では, このコンテナに 50 kg ドラム入り高度さらし粉 (主成分: $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, 商品名: 日曹ハイクロン, 主としてプール, 浄化槽等の殺菌, 消毒に広く用いられている。)を 3段×6列×15行 で積み込み, 内外の熱応答計測を行なったが, 今回は 45 kg ドラム入り高度さらし粉を, 4段×6列×15行 で積み込み実験を行なった。この積み込み仕様変更の結果, コンテナ内上部の積み残し部分 (中空部) は, 前者に比べ約半分となる。

このコンテナを図1に示すように, コンテナ専用船 [川崎汽船(株) おうすとらりあん・しいうだあ号] の船首右舷側最前列最上段に, 日射が良く当るように積み込んだ。船首には, WATER BREAKER が設置されて

* 正会員 日本曹達(株) 二本木工場生産技術研究所 (新潟県中頸城郡中郷村藤沢 950)

** 正会員 神戸商船大学 (神戸市東灘区深江南町5丁目 1-1)

*** 正会員 香川医科大学 (香川県木田郡三木町大字池戸 1750-1)

図 1 実験コンテナ位置

いるが、実験コンテナへの日射の妨げにはならないようになっている。このコンテナ積付位置は過酷な条件下にあるものと考えられる。

本実験では、本コンテナ船が横浜～東オーストラリア間を往復航行する際の、コンテナ内外の熱応答及び気象条件としての日射強度、外気温、風向風速、相対湿度、海水温度等の計測を行なった。

コンテナ内外各部の温度は、応答の速いガラス封入型 Pt 抵抗温度素子 ($2.5\phi \times 20l$) を用いて、ポータブル自動記録計 (千野 ES-200-06 BK) に記録させた。日射強度については、ロビッチ式自記日射計を用いた。なお同日射計に、エンジン振動、ローリング等による影響を防ぐための緩衝装置を取り付け、南北方向については手で修正しながら記録を行なった。風向、風速は相対値について、当初自記微風向風速計 (日本エレクトリック・インストルメント NEI-107) を用いて計測を行なったが、途中破損したため、以降は船の設備計器によった。海水温度については、直接計測が難しいため、エンジン冷却用海水引き込みラインのパイプ表面温度で代用したが、実際の海水温度とほぼ一致していることを確認している。

コンテナ内の温度計測については、前報と同様、コンテナ中央部第 8 行目を中心に行なった (図 2)。図に示すように、手前扉側 2 行のドラムは、コンテナ総重量制限のため、3 段積みとなっている。なお、船の進行方向は扉と反対方向である。

図 2 コンテナ内計測部分

図 3 温度計測点 (コンテナ横断面)

図 3 には、扉側より見たコンテナ内外の主な計測点位置 (8 行目) を示した。各点の温度計番号と位置の関係を表 1 に示した。

表 1 温度計位置

番号	位 置	番号	位 置
1	コンテナ天板 (外側)	9	2 段目中央空気
2	上部中空部	10	下段中央空気
3	上段左端ドラム中心	11	左側々板 (外側)
4	上段中央左側ドラム中心	12	右側々板 (外側)
5	上段中央右側ドラム中心	13	上段左端空気
6	上段右端ドラム中心	14	上段右端空気
7	上段中央空気	15	下段左端空気
8	3 段目中央空気	16	下段右端空気

3. 結 果

3.1 輸送経路及び気象条件

実験を昭和55年7月15日～8月14日の約1ヶ月にわたり実施した。図4は輸送経路を、又表2は停泊日時を示したものである。

輸送中における外気温、海水温度の各日中最高値並びに船位置、相対湿度の各正午値を図5に示した。外気温日中最高値は、大阪出港後、北緯 20° 付近 (7月19～20日) で最大 (32°C) となり、その後南緯 5° 付近 (7月23日) まであまり変化していない。南緯 5° を越えると急速に低下し、シドニーで 18°C 程度、メルボルン

図4 輸送路

図5 輸送中の船位置、外気温、海水温、相対湿度変化

表2 停泊地及び日時

日付	時刻	停泊地	備考
7月15日	16:00	横浜新港	出港
16 "	12:30	大阪南港	入港
17 "	17:00	"	出港
27 "	13:40	SYDNEY BOTANY BAY	入港
28 "	15:00	"	出港
29 "	23:00	MELBOURNE	入港
31 "	16:00	"	出港
8月3 "	13:30	BRISBANE 沖	錨泊
4 "	5:50	BRISBANE NEW STEAD WARF	入港
	14:30	"	出港
13 "	14:00	四日市港	入港
	17:00	"	出港
	18:45	名古屋港	入港
	22:00	"	出港
14 "	11:30	横浜新港	入港

では 14°C 程度であった。メルボルンを経て北上を開始すると外気温は上昇を始め、ブリスベンでは 23°C となり、以降 8月11日まで上昇している。図から、海水温度日中最高値は、外気温日中最高値とほぼ等しく対応し変化していることが判る。

図6には、同期間の風向、風速並びに雲量の変化を

図6 輸送中の風向、風速、雲量変化

示した。南半球では冬期のためか曇天の日が多い。特にシドニー〜メルボルン間は天候の悪い日が多かった。風速については変化が激しいが、7月16〜17日(大阪港)、7月27〜28日(シドニー港)、8月1日、8月3〜4日(プリズペーン)においては、主として停泊のため、数 m/s 以内となっている。

3.2 コンテナ内外部の温度変化

実験期間を通じての、コンテナ天板温度 ① 及び中空部温度 ② の変化を図7に示した。7月16〜17日、7月

図7 輸送中の天板、中空部温度変化

ことを示しているものと言えよう。

コンテナ天板日中最高温度は、7月17日(大阪)で 65°C 、7月27日(シドニー)で 41°C 、8月4日(メルボルン)では 49°C となっている。特に大阪での温度を陸上で行なった実験結果⁽²⁾に比べると、陸上 73°C に対し、海上 65°C と低くなっている。中空部日中最高温度は7月17日で 38°C 、7月27日 27°C 、8月4日では 25°C であり天板と同様の傾向となった。

図8には期間を通じての高度さらし粉ドラム中心温度変化を示した。上段右側ドラム中心温度 ⑥ はこれら4ドラム中心温度中最も高温 (Max. 32.5°C) となり、又南半球に入ってからからの低下も激しい。一方、上段左側ドラム中心温度 ③ の温度は4ドラム中心温度中最も低温であることも特徴的である。これはコンテナの設置位置に原因しているものと考えられる。本コンテナは船首右舷甲板上に設置されており、扉側よりみて同コンテナ左側には隣接コンテナが密接している。この隣接コンテナのため、左側面は日射が蔽ざら

27日、8月1日、8月3〜4日の主として停泊時を除き、全体に、往路では南下するに従い温度の低下を、逆に復路においては上昇を生じていることが判る。なお7月28日〜8月1日にかけては、他貨物の積み降しのため、計測は行なっていない。停泊時にコンテナ天板並びに中空部温度が比較的高いのは、図6に示されているように風がほとんど無く、このためコンテナ表面での熱伝達率が小さく、従って放熱が少ないことに原因しているものと考えられる。このことは逆に言えば、輸送中においてはコンテナ各部の温度が低下する

図8 輸送中のドラム中心温度変化

れ陰となるのに対し、右側面は海に面し日射が直接入るようになっていることに原因している。このことから、特に高温を避けたい貨物輸送の場合、当該コンテナを他のコンテナで囲むように積み込むと、左右側板よりの太陽光入射を蔽ぎり温度上昇に対し効果があるものと考えられる。上段中央左側ドラム中心温度 ④ と同右側温度 ⑤ は、本来ならほぼ等しいかやや同右側の方が高い応答をするものと考えられるが結果は逆になっている。これは温度計素子の製品内位置の変動に原因しているものと思われる。

図9にはドラムをとりまく雰囲気温度例として、期

図9 輸送中のコンテナ内空気温度変化

間を通じてのコンテナ中央横断面（8 行目）の空気日中最高温度変化を示した。各空気温度とも外気温にほぼ対応して変化しているが、7 月 24 日頃をさかいに上段右端空気温度 ⑭ を除きそれまで高温側にあった外気温と逆転している。これは外気温の低下が急速であり、外部への放熱が遅れたことに原因している。なおコンテナ中心部程外部への放熱は遅く（熱抵抗大）、比較的外側に近い空気温度（⑦、⑩）と内側空気層温度は応答が異なっており、後者の応答は当然のことながら遅い。また、上段右端空気温度 ⑭ が往路において外気温より高温側にあるのは、比較的高いドラム初期温度と日射の影響が大きいためには他ならない。

壁面付近の空気温度変化を比較すると、今述べた上段右端空気温度 ⑭ が最も高く、次いで上段左端空気温度 ⑬、下段右端空気温度 ⑩、下段左端空気温度 ⑮ の順となる。左右端空気の上下における温度差は主としてコンテナ天板を通じての熱の流入に原因しているものと考えられる。また上段における左右端空気温度（⑬、⑭）の差は、先ほどドラム中心温度応答のところで述べたように、日射の入射の有無に原因しているものと考えられる。

図 10、図 11 には、コンテナ内外熱応答日中変化の例として、7 月 20 日及び 8 月 11 日のそれぞれコンテナ天

図 10 コンテナ内外の温度変化（7 月 20 日）

図 11 コンテナ内外の温度変化（8 月 11 日）

板温度 ①、左右側板温度（⑪、⑫）、上段右側ドラム中心温度 ⑥、上段中央空気温度 ⑦ 及び日射強度を示した。

太陽が昇ると同時にコンテナ天板 ①、左右側板温度（⑪、⑫）の上昇が始まる。天板温度 ① は日射の変動により変化しているが、最高温度は正午付近に生じているのに対し、右側々板温度 ⑫ は、往路時（図 10）では最高温度が 16 時付近、復路時（図 11）では 7 時に生じている。これは船の進行方向に原因している。往路時、船は南下のため右側々板はほぼ西を向いているため主として午後の日射により昇温するのに対し、復路時では北上のため右側々板は逆に東を向き午前の日射により昇温するためである。一方左側々板 ⑪ へは隣接コンテナによりほとんど日射がささず、このため全体に温度変化が小さい。上段中央空気温度 ⑦ は 14 時付近をピークに、天板温度に対し約 2 時間のタイム・ラグを生じている。また上段右側ドラム中心温度 ⑥ は天板に対し約半日のタイム・ラグを生じているが、この傾向は製品ドラムが 3 段積みの場合（大阪南港実験結果⁽²⁾、シンガポール輸送実験結果⁽¹⁾）と一致しており 3 段積み、4 段積みを問わず夜間に最高温度になることが判る。

3.3 日射強度

図 12 は期間を通じての日射強度（正午値）を示したものである。同図には比較のため日射強度の理論計算値（雲量：0）をも示してある。

日射強度の計算は次式⁽³⁾を用いて行なった。

$$\text{日射強度} = J_0 \cdot \sin h \cdot \left(P^{\cos h} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - P^{\cos h}}{1 - 1.4 \ln P} \right)$$

ここで J_0 = 太陽常数

図 12 輸送中の日射強度変化 (正午値)

P = 大気透過率

h = 太陽南中高度 ($=\sin^{-1} \{\cos(\text{緯度}-\text{赤緯})\}$)

但し反輻射は直達日射及び天空輻射に比べかなり少量⁽³⁾であるためここでは考慮していない。

実測値は雲等の影響により変動が激しいが、計算値でみると7月19日頃を最大に、南下するに従い減少し、メルボルン付近(7月29~30日)では7月19日の日射強度の約半分程度になっていることが判る。これが外気温低下とともに、コンテナ天板温度その他の温度低下の主たる要因であろう。なおメルボルンを経由後北上するに従い日射の強さは回復

し始め8月10日付近に再び最大となっている。

同図7月27日及び8月2日は快晴であり、このときの実測値と計算値を比較すると $P=0.7$ 程度であることがわかり、このことから横浜~東オーストラリア航路海上の快晴時の大気透過率は 0.7 を標準とすることができよう。

4. 他の時期における輸送中の熱応答

ここでは季節間における熱応答の変化を数値計算を用いて検討する。

本実験は北半球が夏期時のものでありこのため北半球においては、図12に示されるように強い日射と高い外気温によりコンテナ内各部の温度上昇を生じるが、南半球に入ると急速な気温低下及び日射強度の低下を生じ結果として冷却されることになった。一方秋分(赤緯: 0)近くなると北半球においては残暑、南半球では外気温もゆるむことに加え赤道直下ではきびしい日射にさらされることになる。

本実験データを参考に、どちらの条件がコンテナ貨物にとってより過酷となり得るかを調べる目的で、ここでは7月17日~9月19日まで的大阪~シドニー間の輸送中における熱応答計算を実施した。

計算には前報⁽¹⁾で開発した2次元非定常熱伝導方程式の陽解差分式を用いて行なった。計算に用いたデータとして、外気温変化は7月分輸送は本実験測定値を、また8, 9月分については川崎汽船(株)より入手したデータ⁽⁴⁾を用いた。本データは本船(おうすとらりあん・しろうだあ号)の過去横浜~東オーストラリア航行中の船位置及び外気温変化を記載してあるものである。なお本データは正午値のみの記載であるため、用いるに当たって輸送中における外気温日中変化があまり大きくないことを考慮し内挿によった。熱定数は表3、表4に示したものを、また日射については大気透過率を 0.7 とし雲量 0 で計算して用いた。コンテナの日射吸収率は天板について 0.75⁽²⁾、側板については 0.6⁽²⁾ とした。

計算結果中ドラム中心温度⑤、外気温、日射強度(正午値)を図13に示した。図は上よりそれぞれ7月17日、8月13日、9月10日に大阪港を出港し、7月27日、8月22日、9月19日にシドニー港に入港していることを示している。

表 3 熱 定 数

	熱 伝 導 率 KCal/m·Hr·°C	比 重 Kg/m³	比 熱 KCal/Kg·°C
空 気 0°C 100°C	0.0204 0.0267	1.293	0.240 0.241
木 材	0.08	600	0.60
アルミニウム	165	2700	0.225
鉄	40	7800	0.10
高度さらし粉	0.376	1000	0.26

表 4 計算に用いた熱伝達率

	熱 伝 達 率 KCal/m²·Hr·°C
コ ン テ ナ 外 板	40
コンテナ内下向平板	6
そ の 他	8

それぞれの輸送期間における日射強度最大値は、7月期 912 KCal/m²・Hr (7月19日), 8月期 913 KCal/m²・Hr (8月17日), 9月期 912 KCal/m²・Hr (9月15日) となりその値はほぼ等しく、また秋が深まるにつれ太陽の赤緯の変化にともない南方へ移っていくことがわかる。

ドラム内温度変化は 25°C を初期温度として類似した応答をしていることが判る。各期間におけるドラム内期間最高温度は7月期 30°C (7月20日), 8月期 29.5°C (8月17日), 9月期 29°C (9月14日) と比較的近い値となっている。

この計算は8月期, 9月期について比較的高温である正午の外気温の内挿値を用いて行なっている事に加え全計算共雲量 0 の快晴時の過酷な条件下での結果であることを考え合わせると, これら7月~9月期の横浜~東オーストラリア航路上の輸送コンテナ内貨物温度は最高 30°C 程度とあまり高温にはならないものと考えられる。

5. む す び

夏期の横浜~東オーストラリア往復航路において、貨物を積載したコンテナ内外の熱応答の計測を行なった。この結果次のことがわかった。

① コンテナ天板等の温度応答は停泊時に比べ輸送中は低い。

② 他コンテナにより日射を蔽ぎる事でコンテナ内温度上昇率を少なくすることができる。

③ ドラム内温度応答はドラム積み込み段数 (3段積み, 4段積み) を問わずタイム・ラグは約半日となる。

④ 夏期の横浜~オーストラリア航路上におけるコンテナ内貨物中心温度は最大 30 数度程度までしか上昇しない。

⑤ 同航路上での快晴時の日射透過率は 0.7 程度である。

また夏期~秋期にかけての輸送中のコンテナ内熱応答数値計算の結果

⑥ 7月~9月期同航路上での輸送中のコンテナ内熱応答は類似しており本実験結果程度となることがわかった。

最後にこの実験を実施するにあたり種々の御便宜を計っていただいた川崎汽船(株)の佐原調査役, 池田課長代理, 村上課長代理, 大東運輸(株)大島課長, ジャパン・エクスプレス(株)の沼宮内部長, おうすとらりあん・いろいろだあ号木村船長以下乗組員の方々に, また計測に協力いただいた日本曹達(株)牧野主任, 中山研究員他の諸氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 今枝・木村・遠藤: Dry Container 内各部の温度分布について II, 日本航海学会誌第64号 (昭56年)
- (2) 今枝・久保・木村・多々良・遠藤: コンテナ内貨物の汗ぬれ防止について (第3報), 神戸商船大学紀要第27号 (昭54年)
- (3) 渡辺: “建築計画原論 I, II” (丸善)
- (4) 川崎汽船(株) 東京支店: 私信

図 13 輸送中における熱応答 (計算)