

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04939

研究課題名（和文）実海域での船体傾斜及び人為的ミスが冷凍・冷蔵コンテナ貨物の熱的損傷に与える影響

研究課題名（英文）Effects of hull inclination and human error in actual sea area on thermal damage of frozen and refrigerated container cargo

研究代表者

川原 秀夫（Kawahara, Hideo）

防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・システム工学群・教授

研究者番号：80300622

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、船の揺れや傾斜及び人為的なミスにて発生する冷凍・冷蔵コンテナでのドレンの排出不良、空気の流入・流出による貨物損傷に注目し、以下の4項目にてメカニズムの解明及び品質管理の向上を達成する。

洋上を航行するコンテナ船に積載される冷凍・冷蔵コンテナの熱環境変化に伴う貨物損傷の実態調査、コンテナ周囲の環境変化とドレン排水口の開閉状態がコンテナ内の温湿度変化に与える影響の把握、気象条件を組み入れたコンテナ内の三次元的な熱流動の推定、輸送中におけるコンテナからのドレン排水量、空気の流入・流出量と貨物の損傷予測

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで食品物流分野において、冷凍・冷蔵コンテナ内部の熱流動に関連した研究は実験及び数値的解析が精力的に行なわれている。しかしながら、コンテナの密閉性が保たれなくなった状態で、外部から空気が流入して結露・結霜・凍結に至る問題や庫内に溜まったドレンが凍結し、コンテナ内部の貨物損傷に与える影響についての研究は国内外とも皆無に近い。このような状態では船舶特有の揺れや傾斜によるドレンの排出不良が原因の場合や人為的な保守管理のミスによりドレン排水口の開放にて生じるものであり、日常的に多発している問題と言え、そのメカニズムを定式化および定量評価することは大きな意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）： This study focuses on cargo damage caused by poor drainage and air inflow/outflow in refrigerated/freezer containers due to ship swaying, tilting, and human error.

(1) Investigation of cargo damage caused by thermal environment changes in refrigerated/freezer containers loaded on ocean-going container vessels, (2) Understanding of the effects of environmental changes around containers and the opening and closing of condensate drain ports on temperature and humidity changes inside containers, (3) Estimation of three-dimensional heat flow inside containers incorporating weather conditions, and (4) Estimation of the amount of drainage from containers during transportation, and the effect on temperature and humidity changes in containers. (4) Prediction of the amount of condensate drainage and air inflow/outflow from containers and cargo damage during transportation

研究分野：熱流体工学

キーワード：冷凍・冷蔵コンテナ ドレン 人為的ミス 貨物損傷 船体傾斜

1. 研究開始当初の背景

海上貨物量は 2016 年に 100 億トンを突破し、その 16%がコンテナ輸送されている。1950 年代に発明されたコンテナ輸送は手作業に依存する点が大きかった貨物荷役に対し、輸送の効率化、高速化を劇的に実現、グローバル化に果たした貢献は極めて大きい(図 1)。コンテナ輸送における関連技術の発展として、特に船用の冷凍・冷蔵コンテナが登場、季節や産地を問わず食品など生鮮貨物が世界中に流通可能となり、食糧自給率が約 40%しかない日本の食生活に必要不可欠となった。コンテナに装備される冷凍機の性能及び輸送時の振動に対する安定性も進歩し、輸送中に発生する機器の故障による貨物の損傷事故は荷役作業時における丁寧なコンテナの取り扱い等、船会社の自助努力もあり減少傾向にある。一方、海上での船の揺れや傾斜によるコンテナ内部の環境変化、また初歩的な保守・整備の不良など人為的な管理ミスに起因する貨物の損傷事故は今も明確な改善が見られないままである。図 2 は日本海事検定協会より報告された輸入食品の損害形態別の割合を示したものである。この図により約 38%が食品の凍結・解凍による損害であり、圧倒的な比率を占めている。この凍結・解凍の事項原因について調査した結果(図 3)より、半数以上は冷凍機の故障が原因であるが、それ以外の要因ではドアラバーガスケット(コンテナの開閉扉を密封するためのゴム状のシール部分)の欠損、屋根の穴や亀裂、ドレン穴の欠損、ドアギャップ(密閉不十分)など人為的な運転・保守管理ミスが原因である。これら人為的な運転・保守管理ミスによる貨物の損傷事故は海上保険にて処理されることが一般的であり、貨物損傷の度合いや事故原因の詳細は公開されないため対策検討も進まず、同様の事故が繰り返し発生している。



図 1 積荷中の大型コンテナ船

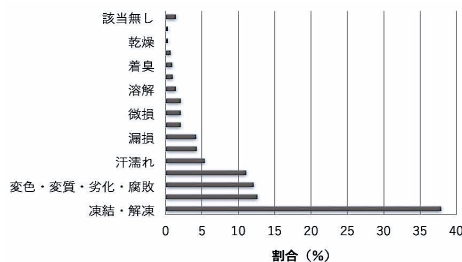


図 2 輸入食品の損害形態別割合

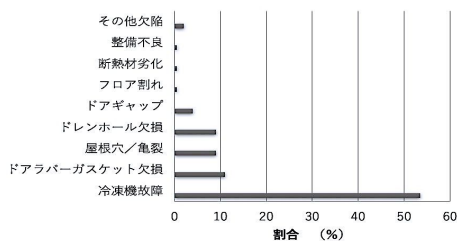


図 3 凍結・解凍の事故原因

2. 研究の目的

本研究では、これまであまり重要視されていない船の揺れや傾斜、さらに人為的ミスにより発生する冷凍・冷蔵コンテナにおけるドレンの排出不良、コンテナ外部からの空気の流入・流出による貨物損傷を研究対象に設定し、前述した 2 点の学術的「問い」を解決する損傷事故のメカニズム解明及び品質管理の向上を実現する。

3. 研究の方法

本研究では、船の揺れや傾斜及び人為的ミスにより発生する冷凍・冷蔵コンテナにおけるドレンの排出不良、空気の流入・流出に起因する貨物損傷に注目し、損傷事故のメカニズム解明と品質管理の向上を①～④にて実現する。

洋上を航行するコンテナ船に積載される冷凍・冷蔵コンテナの熱環境変化に伴う貨物損傷の実態調査

実際の輸送現場にて関係者を対象とした現地調査を実施し、冷凍・冷蔵コンテナの管理にて現場での詳細な問題点および望まれる対策を明確にする。具体的には冷凍機の本体に生じるハード上の問題点、陸上輸送では見られない海上輸送に特有の問題点、保守・運転管理のミスによる問題点を整理する。貨物損傷の確認は荷主の許可が必要であり(通常は不可能)海上保険の処理データをもとに実態把握する

コンテナ周囲の環境変化とドレン排水口の開閉状態がコンテナ内の温湿度変化に与える影響の把握

冷凍・冷蔵コンテナの上方および側面から見た断面構造を示す。蒸発器ファンからの冷気は庫内下部にある吹き出し口から流出し、庫内を巡回した後、庫内上部の吸込み口に流入する。庫内底部の四隅には発生したドレンの排水口があり、通常は閉鎖されている。冷凍・冷蔵コンテナは室温が 10 以下になると、蒸発器に霜が付着するためフィンが目詰まりし、伝熱効率が低下する。このため、蒸発器の表面に熱を加えるデフロスト運転(除霜)を行うため、定期的に庫内にドレンが発生する。実験ではドレンの排水口を閉鎖し、4 箇所排水口の開閉状態を変化させた場合における庫内の温度変化、排水口からの冷気の流

出量、外気の流入量を計測、貨物の損傷程度を定量的に評価する。

気象条件を組み入れたコンテナ内の三次元的な熱流動の推定および実現現象の再現

これまで我々は中国～欧州の定期航路における 20,000 個積みコンテナ船 (2019 年 5 月就航予定、正栄汽船(株)) に日射量計及び温湿度計を設置し、航海中における外気状況の時空間スケールにおける変化を連続計測する実船実験を準備中である。ここで得られる外気条件の時空間における非定常変化を境界条件として取り込み、冷凍・冷蔵コンテナについて船の揺れや傾斜にてドレンが庫内から排出されない場合や人為的ミスで排水口を閉め忘れた場合などドレン排水口の開閉状態が庫内の熱流に与える影響を三次元の熱流動シミュレーションにて再現検証する。

輸送中におけるコンテナからのドレン排水量、空気の流入・流出量と貨物の損傷予測

で得られたドレンの排出量、ドレン排水口からの空気流入および流出量、項目 で得られた庫内の熱流動に関する推定結果および気象変化に関する計測データをもとに、冷凍・冷蔵コンテナに積載する貨物ごとの損傷度合いを推定可能なモデル化を行う。さらに外気変化を考慮した船の揺れや傾斜、人為的ミスを想定した排水口が開閉による損害を数値予測するモデルを開発し、現象解明および有効な対策のない現状に対する問題解決を実現する。

4. 研究成果

本申請課題の研究成果を以下に示す。

洋上を航行するコンテナ船に積載される冷凍・冷蔵コンテナの熱環境変化に伴う貨物損傷の実態についてアンケート調査を行った。得られた結果を以下に示す。

「果物、野菜、花、球根などは一般に生ものと呼ばれ、これらは呼吸をしているため冷凍輸送を行うことができない。」「停泊中にコンテナを開放する機会はほとんどなく、コンテナ外板にモニタリングされている温度や湿度等を見ている。」「汗濡れした貨物については輸送途中でコンテナを通気して乾かすなどの措置をとることがある。」「床材として木を使用している場合、貨物の固定のためくぎ打ちをすることがあり、ここで穴をあけるためにここから水分が流入する恐れがある。」「床材としてはアピトン材と呼ばれるタモ科の合板材が使用される。」「ドライコンテナのチェック項目についてはターミナル側による点検等は特にしていない。」「コンテナの中がオペレーターには見えないことが大きな問題の一つである。」「コンテナ内の積み付け方法によって、ドライコンテナでは荒天等により移動しないよう床にくぎ打ちをすることがあり、水密性が保たれていない。」「コンテナ内が濡れる原因として、水分の多い貨物や息をしている貨物において汗濡れを起こすことがあるといわれているが、ターミナル事業者が目当たりには見えないことはない。」「コンテナを管理する側から見て、コンテナ内に水分が入る主な要因として雨天時の積み込み作業が考えられる。」「外部との通気のためにベンチレーターが四隅にある通気コンテナは船社の指示により穴をふさぐことが多い。」以上のことからコンテナ内部の状況が誰からも監視されておらず、状態が把握できていないことも確認された。



図4 ドレン排水口(左) ドレン排水口ラバーの欠損(右)

次に、コンテナ周囲の環境変化とドレン排水口の開閉状態がコンテナ内の温湿度変化に与える影響について検討を行った。図4は冷凍・冷蔵コンテナ内におけるドレン排水口及び排水口の外側におけるラバーが欠損した一例を示す。このように冷凍・冷蔵コンテナの起動中、ドレン排水口が開放され、排水口のラバーが欠損すれば、庫内に外気が流入し、図5に示すように庫内に部分的な凍結が発生、積載貨物が損傷する。図6は庫内における温度変化の一例である。図より庫内温度が設定温度(-20)に達すると、一旦冷却が停止し、その後、-16程度まで上昇した時点で再び冷却が開始される。これを繰り返すことで庫内温度を一定に保っている。この過程で冷凍機の ON/OFF が繰り返され、庫内温度は-20 から-16 付近を周期的(約1時間)に変動する。庫内温度の変動が繰り返される中、庫内の気密が保たれていない場合に新たに空気が入り、結露が発生するが、実際には外気変化(日射)の影響を受け、冷凍機の ON/OFF 運転が開始されている。これにデフロスト(除霜)運転が加わり、庫内温度の周期変動が増幅され、庫内空気の体積変動が生じる。コンテナの気密が保たれていない場合(ドレン排水口が開放、ドアシールの不良等)外部から空気が侵入し、結露、結霜、凍結が発生し、貨物が損傷する。



図5 庫内に発生した凍結の様子

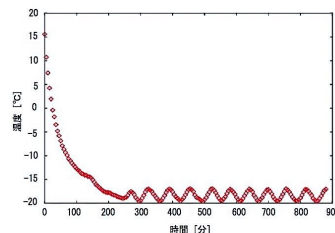


図6 庫内の温度変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yuen Ping Chi, Sasa Kenji, Kawahara Hideo, Chen Chen	4. 巻 75
2. 論文標題 Statistical estimation of container condensation in marine transportation between Far East Asia and Europe	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Navigation	6. 最初と最後の頁 176 ~ 199
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S0373463321000746	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Ping Chi Yuen, Kenji Sasa, Hideo Kawahara, Chen Chen
2. 発表標題 Analysis of the Onboard Weather Conditions Governing Container Condensation in Voyages between Asia and Europe
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 令和2年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川原 秀夫, 川上 拓也, 笹健児
2. 発表標題 放射伝熱による船用ドライコンテナ内の汗濡れの形成
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第58期総会・講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	笹 健児 (Sasa Kenji) (10360330)	神戸大学・海事科学研究科・教授 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------