

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

貨物輸送におけるRTIの利用が積載率とCO₂排出量に与える影響に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 公開日: 2024-05-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 谷田, 溪 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2000193

修士学位論文

貨物輸送における RTI の利用が積載率と
CO₂排出量に与える影響に関する研究

2023 年度
(2024 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
海運ロジスティクス専攻

谷田 溪

修士学位論文

貨物輸送における RTI の利用が積載率と
CO₂排出量に与える影響に関する研究

2023 年度
(2024 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
海運ロジスティクス専攻

谷田 溪

目次

1. 序論.....	1
1.1. 近年の物流問題とパレットの導入.....	1
1.2. 環境問題と循環型社会における物流の取り組み.....	2
1.3. パレットの標準化に関する課題.....	3
1.4. 各章の構成.....	5
2. RTI と積載問題に関する先行研究調査.....	6
2.1. RTI に関する文献の枠組み.....	6
2.2. パレット関係の研究.....	7
2.3. その他 RTI, Reusable packaging に関する研究.....	8
2.4. 配送路問題と積載に関する研究.....	8
2.5. 研究目的と新規性.....	8
3. RTI の積載が輸送中の貨物自動車へ与える影響の分析に関する研究方法.....	10
3.1. 研究内容とパレット積載時の積載率の低下要因.....	10
3.2. 研究の対象物.....	11
3.2.1. コンテナの決定.....	11
3.2.2. トラック荷台、セミトレーラー荷台部分の決定.....	15
3.2.3. スワップボディコンテナの決定.....	22
3.2.4. パレットの決定.....	22
3.2.5. ケースの決定.....	23
3.2.6. 決定したコンテナ情報.....	24
3.3. 荷積みアルゴリズムと設定について.....	26
3.4. CO ₂ 排出量の計算方法について.....	27
4. 貨物自動車への影響に関する分析結果.....	29
4.1. パレットごとの床面使用率の結果.....	29
4.1.1. パレット積載時の床面利用率(単種類).....	30
4.1.2. パレット積載時の床面利用率(複数種類).....	31
4.2. ケース積載時の容積、重量積載率、CO ₂ 排出量の結果.....	33

4.2.1.	ケース積載時の容積積載率の結果	33
4.2.2.	ケース積載時の重量積載率の結果	37
4.2.3.	ケース積載時の CO ₂ 排出量の結果	40
4.3.	結果のまとめ及び標準化の考察.....	44
5.	結論.....	46
5.1.	本研究の結論.....	46
5.2.	今後の展望.....	46
	謝辞.....	56
	参考文献.....	57

1. 序論

1.1. 近年の物流問題とパレットの導入

近年、我が国の物流分野において、少子高齢化に伴う労働力不足の問題が見られる。中でも物を輸送する上で必須の存在であるトラックドライバーであるが、上記の原因に加えて低賃金、長時間労働などが起因¹⁾し、有効求人倍率の伸びより深刻な労働力不足が発生している。労働時間はかねてから問題視されていたが、トラック輸送状況の実態調査結果²³⁾(図 1)より、1 運行あたりの平均拘束時間は減少していることがわかる。それぞれの作業時間に着目すると特に荷役時間の減少が全体の拘束時間減少に繋がっていることが読み取れる。これは、対策の一つに貨物のパレチゼーション化があったことが考えられる。パレチゼーションとは、「発地から着地まで一貫して同一のパレットに貨物を積載したまま物流を行うこと」⁴⁾である。以前は貨物をトラックで積載する際バラ積みで積み込む現場が存在したが、貨物を一つ一つ手荷役で運ぶと時間がかかり、かつ労働者の体の負担が大きかった。荷役作業の改善要望では、労働力の不足から拘束時間が長時間化していることが記載されているが、荷役作業の負担なども起因し結果的に荷待ち時間の長時間化に発展、体を壊したドライバーが辞めさらなる労働力不足が発生する負の循環が起こることと予測される。行政はこの事態に対応するためホワイト物流推進運動などで、パレットの活用を推進してきた⁵⁾。国土交通省によると、パレチゼーション化したことで荷役時間が2時間→27分、荷待ち時間が4時間→53分に短縮した事例⁶⁾などが存在し、荷役時間の短縮効果だけでなく荷待ち時間の短縮時間にも貢献していることがわかる。現在はパレチゼーション化が進んでいるが、未だにバラ積みの現場は存在しパレットを使用するよう労働者からの改善要望が出ている。荷役時間は本来、運行には関係のない無駄な時間である。労働者の負担軽減のため、そして労働時間の短縮化のために今後もより一層パレチゼーション化することが求められる。

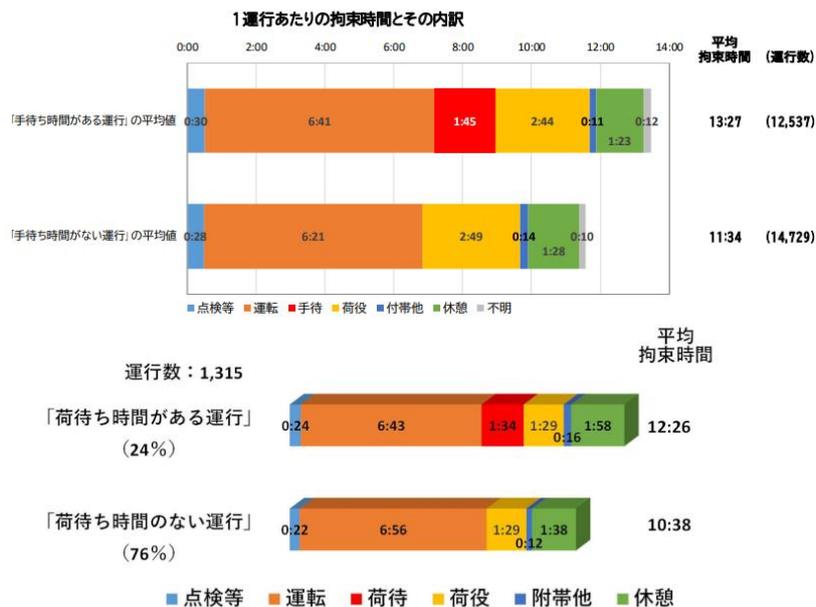


図 1 トラックの 1 運行あたりの拘束時間とその内訳時間(上：平成 27 年、下：令和 3 年)
(出典：国土交通省⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾)

1.2. 環境問題と循環型社会における物流の取り組み

2015年のパリ協定以降、我が国では2050年のカーボンニュートラル達成に向けて、様々な業種で地球温暖化防止への対策が講じられている。物流業も例外ではなく、特に運輸部門では貨物自動車のCO₂排出量が問題となっており、行政は国土交通白書2022⁷で脱炭素化に向けた取り組みを紹介したり、グリーン物流パートナーシップ会議を立ち上げ企業の脱炭素化に向けた取り組みへの表彰を行ったりと様々な対策を講じている。サプライチェーンのマネジメント的観点では、他社と貨物を共同配送しトラックの積載率を高め必要トラック数を少なくしたり、技術的観点では、EVなどの次世代自動車を導入したりすることで、輸送中のCO₂排出量を削減する事例を紹介している。本研究では、マネジメント的側面、また技術的な側面のうち、循環型のサプライチェーンによるCO₂排出量削減効果に着目する。

古くから輸送や流通に関連する研究はなされていたがその多くは、製造業者から消費者への物の流れ(forward distribution)を取り扱っていた。1980年代になり、逆の流れに対応する設備が整っていないことが話題に上がり、Murphy and poist(1989)⁸が逆の物の流れ(reverse distribution)、すなわち消費者から製造業者へと向かう物の流れを取り扱った文献を公表して以降 Reverse logisticsを取り扱った研究がその範囲を広げていった⁹。そして、現在は上記2つの流れを統合的に扱う closed-loop supply chain の分野として研究が行われている¹⁰。逆の流れの中には、修理を目的とした使用した物の返品や買ったが目的と合わない物であったための返品、それだけではなくリサイクルや再製造といった流れも含まれる。現代の循環型社会の中では、電池など様々な物のリサイクルが行われているが、物流分野でもこれらの社会的な流れに対し様々な取り組みがなされている。例えば、梱包資材である。一次包装では、シャンプーをボトルや詰め替え袋という単位で売るのではなく、消費者がボトルを持ち寄る量り売りの形式がそれである。他にもテラサイクル社の loop¹¹は、消費者が使用後の容器などを定められたトートバックに入れ、テラサイクル社が洗浄、メーカーへ返却するというリユースのビジネスモデルを確立している。これらの事例のように、再利用が可能な包装材を利用することで、包装材が循環して利用されることになり、物質的な面でボトルなどのプラスチック製品を無駄に製造せず済むので資源を最小限に抑え、かつ製品の製造時に排出されるCO₂が全体的に少なくなるため環境に良いといった見方がある。行政は、輸送時に今まではダンボール箱に商品を詰め込んでいた形式をプラスチックコンテナなどの RTI(Returnable transport items)に変えることで環境負荷削減を図っている¹²。実際に民間でも、大手化学メーカーの花王株式会社はコストコと協力し、パレットに循環型折りたたみコンテナを積載して商品を運び環境への効果の検証を行っている¹³。過去の研究においても Hekkert(2000)¹⁴は輸送用ボックスやパレットなどの RTI を対象としたライフサイクルアセスメントの結果、ワンウェイ包装材より CO₂排出量が減少することを示しており、RTI がもたらす環境への正の側面が立証されている。一方で、Bengtsson (2015)¹⁵ や Koci(2019)¹⁶ はパレットを対象に、特定の状況、素材では RTI よりワンウェイ梱包での輸送の利点が現れるといった指摘や、そもそも RTI 重量が輸送の CO₂排出量に影響を与える点について指摘をしている。そのため、一概に RTI を使用すれば良いという訳では無い問題も存在する。今後の物流は、素材を考慮した上での RTI を利用した循環型のシステムを作ることがより求められるであろうが、作り上げたシステムがワンウェイ

素材を利用したときよりも本当に CO₂排出量が減少しているかということを経済的に確認していく検証作業が必要になってくると予測される。

1.3. パレットの標準化に関する課題

パレットには、様々な寸法が存在する。ISO や JIS 規格など規定されているもの、その他寸法のパレットが多数ある。図 2,3 は、それぞれ日本のレンタルパレットの保有数¹⁷、アメリカ内のパレット数¹⁸の図である。日本の場合、レンタルパレットのうちプラスチックは大部分を T11 パレットが占めており、木パレットは T11 に続き 1400×1100 のパレットが多く利用されているが、レンタルでない場合はより多くのサイズのパレットが利用されていることが見込まれる。アメリカの場合、12 パレットに近いサイズの 48”×40”のサイズが多く利用されていることがわかる。このように国内だけでなく世界的に見て使用されているパレットサイズは多数あり、その割合も異なることがわかる。パレットサイズが多く存在する理由について、Raballand(2007)¹⁹は商品の大きさによって包装、パレットのサイズが決まり、パレットメーカーが商品メーカーの要望に応えた結果、サイズの多種化が発生したことを説明している。そして古くより、この寸法の多種化によってパレットの積替え問題などが発生し、標準化を巡る議論を引き起こしている。

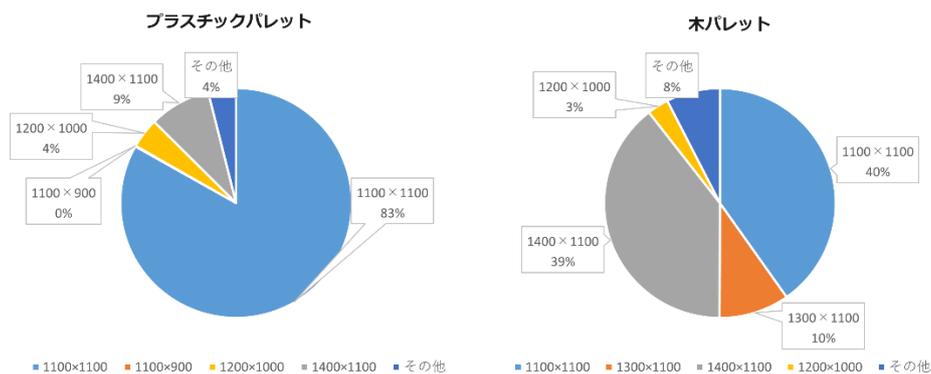


図 2 日本国内のレンタルパレットのサイズ割合
出典 一般社団法人 日本パレット協会より筆者作成

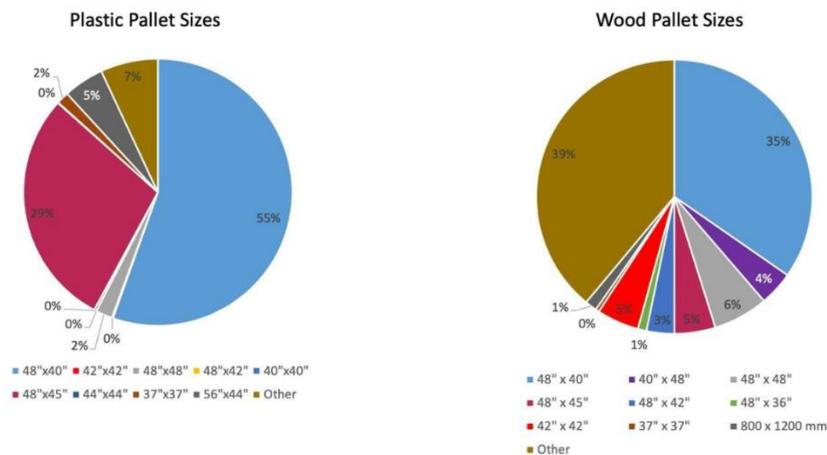


図 3 アメリカ国内のパレットのサイズ割合
出典 Dorina(2019)より引用

そもそも、1.1.で述べたパレットの利活用であるが、一部企業はパレチゼーション化できずバラ積みしている、そしてパレチゼーション化したが一貫パレチゼーション化はできていないといった問題が存在する。前者のパレチゼーションができない問題について原因はいくつかあるが、そのうちの1つに積載率が挙げられる。パレチゼーションは荷役作業の効率化というメリットをもたらすが、同時にパレット自体の寸法、重量などが原因し、トラック荷台の空間内に貨物を積載できないスペースを発生、本来積載できた最大積載重量を満たせず追加でトラックを用意せねばならないといったデメリットももたらす。結果として、輸送コストが見合わずバラ積みせざるを得ない。後者の一貫パレチゼーションができない問題は、マネジメント的な観点の原因が複数挙げられる。1つは、A地点からB地点にパレチゼーションの形式で送っても帰り便が無いパターンである。Aは自分のところで利用していたパレットが無くなり、かつ送ったパレットが流用され紛失する可能性があるため、パレットを引き取りに行かなければならない。パレットを回収するだけにトラックを運行させても、それは無駄な費用になり、かつ環境にも悪影響を与えることになる。以上のようなリバースフローに関連する問題は折りたたみコンテナをパレット積みした場合でも考えられ、目的地には折りたたみコンテナが溜まってしまう。また、上記の問題は、国際間の輸送でも生じるため、貨物をパレット積みしてワンウェイの形式で送る事もある。

(Bengtsson(2015))²⁰もう1つのパターンは、A地点からB地点にパレットを輸送しても両地点で利用しているパレットサイズが異なる場合である。この場合はパレット間での積替え作業が発生するため、パレチゼーションの意味が無くなってしまう。それどころかパレット間での積み替えがある場合は、バラ積みのときと比較して空間的にはバラ積み勝ち、結局貨物1つ1つを取り扱う作業をすることに変わりが無いことから、全てにおいて無駄な作業に成ることもあり得る。似たようなパターンでレンタルパレットを利用する方法があるが、契約の問題でB地点ではレンタルパレットを取り扱えず、B地点の倉庫で使用しているパレットに積替えする同様の例が生じる可能性がある。前者の問題、後者の問題は共にパレットサイズから発生する問題から発生しており、労働者の負担の増加のみならず時間的コストの損にもなり得る。

上記のような問題の解決のため、行政は2021年頃からパレット標準化推進分科会を開催し、パレットサイズの標準化に向けた活動を行っている。現状は、これからパレット化を図る事業者にはT11パレットを推奨することから、今後はT11パレットを標準として取り扱うものとしてシステムの準備を行う様子である。²¹しかしながら、T11パレットで良いかどうかはより深い検討をする必要がある。理由は2つあり、1つは、今までも日本国内ではT11パレットがJIS規格で設定されていたが、図1にも示したように違うサイズのパレットはあり、業種ごとに異なるパレットサイズを利用しているような事例もあることだ²²。今まで、他のパレットサイズに合うような製品を作っていたメーカーは不利である。Raballand(2007)は、パレットの標準化を巡る問題が1940年代からすでに指摘されているにも関わらず変化しないこの状況の要因を、国際貿易における輸送会社、輸入業者、輸出業者を例に囚人のジレンマを踏まえ説明している。もし、社会的にT11での標準化に難を示す傾向があれば、現在の状況は延々と続く。もう1つは、パレット以外のRTIやコンテナ、トラック荷台サイズへの影響だ。パレットワイドコンテナは、通常のコンテナと比較して2400mmを上回る。これは、海外でよく利用される12パレットやEUROパレットを利用するのにはちょうどよいのだが、ISOで規定されるコンテナサイズより大きいもので

ある。このようにパレットサイズに合うようなコンテナサイズが増えれば、パレットが多種類になった原因と同じになる。同様にパレットに積載する折りたたみコンテナなどのケースも一応の規格はあるが、パレットごとにサイズが増えここでも多種類化が発生することになる。他に考慮すべき事を除いて、ただトラック荷台空間の容積積載率のみを考慮した際、T11パレットが本当に良いのか詳細に分析を行う必要がある。T11パレットが望ましくなかった場合は、物を運ぶのに必要なトラック台数が増え、環境にも影響を与える可能性がある。

1.4. 各章の構成

本稿は、以下の章で構成される。

第2章は、先行研究の調査を行い、その課題と本研究の目的を述べる。

第3章は、本研究の調査対象であるトラック、RTI(パレット、折りコン)などについての情報について、そして分析に利用した手法などについてまとめる。

第4章は、分析の結果を示し、どのパレットサイズが容積的に良いのか、そして、RTIを利用することで、貨物自動車の輸送中に排出されるCO₂の量にどの程度の影響をもたらすのかを調査する。

第5章は分析より得た結果をもとに、サイズの標準化に関する考察を行う。最後に本研究のまとめを行い、今後の課題について述べる。

2. RTI と積載問題に関する先行研究調査

RTI に関わる大枠の既存研究は、下の図 4 で示すような種類で大きくまとめられる。大きくは循環型サプライチェーンの中にある再利用可能な包装資材、そして、物流の輸送で利用されるような RTI がある。パレットはワンウェイでもリバースすることもできるため RTI の 1 つとなり、その他の折りたたみコンテナなどのケースなども RTI に含まれる。

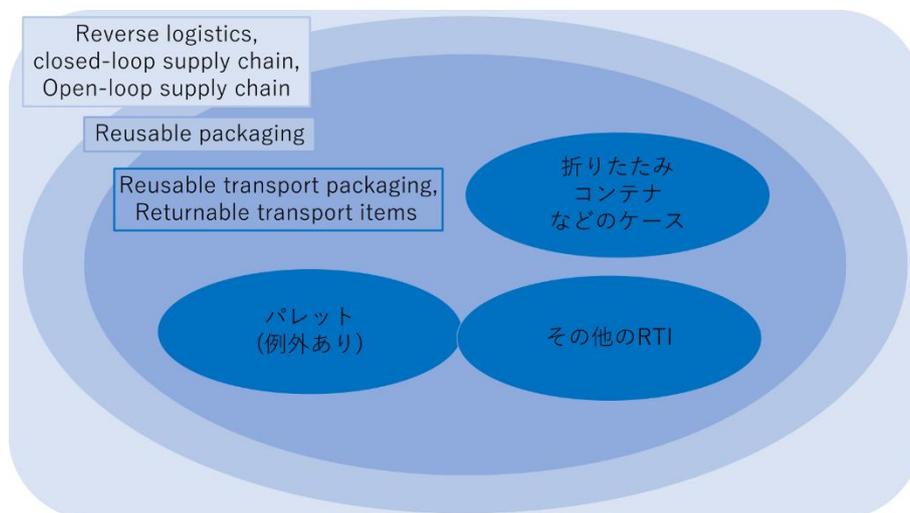


図 4 既存研究の大きな枠組み

2.1. RTI に関する文献の枠組み

RTI の既存研究は、下の図 5 で示すようなカテゴリ、大きくはマネジメント方法、物理的な構造、積載問題の 3 つに分けられる。パレットを例にすると、マネジメント方法はパレットの流れを経済的、環境的により良くするためのモデルを組むような事例が見られ、パレットの素材ごとのライフサイクルアセスメントを行いどのような素材がより良いパレットとして利用できるのか、マネジメントの環境的観点により細かく見るような研究が見られる。物理的構造は、パレットの耐久度に関わる構造に関する研究などである。積載問題はパレットへ段ボールを積み付けるときの 3D ビンパッキングのようなアルゴリズム開発に焦点を当てた研究や、リーファーコンテナでの輸送を行うためにどのような積載がコンテナ内の熱の効率化をするのかという研究がある。

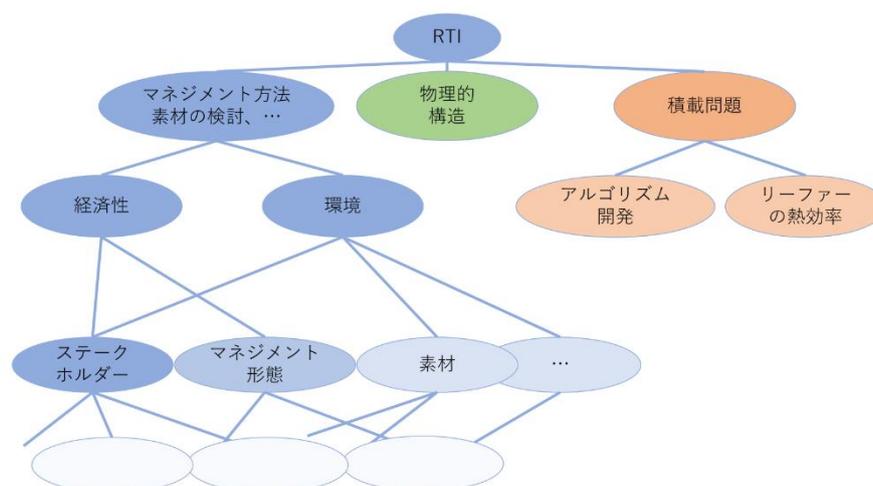


図 5 RTI の既存研究のカテゴリライズ

2.2. パレット関係の研究

パレットの研究は増加傾向にあり、2006年以降からの伸びが大きくなっている。²³パレットのマネジメント方法については、先程のように経済的側面(コストや在庫管理)や環境的側面に触れている文献が見られる。**Roy et al(2016)**²⁴は、パレットの物流に関係する研究が進んでいない理由として、ネットワークの複雑性とその推計の困難さと業界の中小企業の多さを上げ、この状況に対してマルチエシェロンの在庫管理とコストのモデルを開発した。結果として、開発したモデルをパレットの受け渡し方法(契約形態(レンタルなど))ごとの損益分岐点の分析などを行った。**Elia and Gnoni(2015)**²⁵は、ロジスティクスサービスプロバイダー(LSP)から最終顧客まで貨物が到達した後に、パレットをLSPに返却する closed-loop 型のサプライチェーンの中で、空パレットのリバースの流れの管理の重要性そのために顧客とLSP間での協力が必要であることなどを述べた。環境に触れている研究としては、マネジメントの観点から排出量を評価しているような研究と素材ごとのライフサイクルアセスメントを行っているような研究が見られる。マネジメント的な観点のとして、**Accorsi(2019)**²⁶は小売業者のネットワークを対象にパレットのバイセル方式とプーリング方式の組み合わせ時の環境評価を独自のGISを利用したソフトウェアで評価した。ライフサイクルアセスメントに関する研究は、**Bengtsson(2015)**, **Koci(2019)**, **Khan(2021)**²⁷がある。**Bengtsson**は、異なる素材、用途の木製パレットとプラスチックパレット、段ボールパレットを対象に、**Koci**はプラスチックパレットと木製パレットを対象にその影響をより詳細に、**Khan**はプラスチックパレット、プラスチック、そしてウッドポリマー素材のパレットを対象に分析を行った。この中で、**Koci**はパレットの重量が輸送貨物全体の重量を増加させ環境への影響を大きくすることについて言及している。経済と環境の両者と取り扱った文献としては**Tornese et al(2018)**²⁸, **Tornese et al(2019)**²⁹, **Bilbao et al(2011)**³⁰がある。**Tornese(2018)**は、パレットプーリングシステムを対象に、環境と経済の両面の分析モデルを作成し、修理方法の違う回収方法の2種類のマネジメント方法に適用した。結論の中で、積載するパレット状態の割合がコストや環境への影響に大きな影響を与えることを示した。**Bilbao et al(2011)**は、素材の異なるパレットを対象に素材の違いによる環境への影響やコストなどへの影響を考慮したパレットの管理方法と素材の選択モデルの開発を行った。パレットサイズの標準化に関する問題を取り扱った研究としては、**Raballand(2007)**がある。**Raballand**は、パレットの標準化ができなかった理由、パレットサイズが多様化した理由の考察から始まりパレットの積み替え作業などから発生する無駄なコストの影響を貿易、国際間の輸送を例に標準化の比較を行い、標準化の推進を進めることの重要性を示した。

積載に関する問題を扱った文献は、**pallet loading problem**のようなパレットへのケースの積載アルゴリズムの開発に関する問題(3次元空間において、どういうふうに積み合わせたら良い形になるのか)、リーファーコンテナに関する積載方法に関する問題を取り扱った文献が見られる。**Pallet loading problem**に関しては、**Silva(2016)**³¹のレビューによると、現在の後半的に行われている研究が実世界の事象に対して、効率的に解くことができるのかは必ずしも期待できるわけでは無いということを述べている。リーファーコンテナに関する積載方法に関して、**Thijs.D,et al(2015)**³²は、リーファーコンテナ内に柑橘類の果実をパレット積みで積載した際の冷却の能力に関する研究をし、パレットへの箱の積み重ねの改善が必要になってくることを述べた。

Louw&Nel(2019)³³は今までそもそも研究されなかった果実産業の輸出における積載量を対象にリーファーコンテナ内に入る果実の量をパレット、段ボールの寸法、重量などを元に現在の実態についての計算を行った。結論の中で、既存の段ボールサイズを少し変えることでより良い積載量にすることができること、特殊なパレットサイズの利用で積載量を上げることについて述べた。

2.3. その他 RTI, Reusable packaging に関する研究

その他の RTI も多くはパレットと似たような研究が多い。このような中で管理モデルの中にサイズの概念を取り扱った研究としては、Glock and Kim(2014)³⁴, Sarkar et al(2017)³⁵がある。Glock and Kim(2014)は、コンテナサイズが保管場所の費用を左右することについて述べている。RTI の中で標準化について触れている研究の中には、Katephap & Limnararat(2017)³⁶は、RTI 導入時の初期投資の大きさを考慮し従来の再利用可能な包装材の研究にはなかった包装コスト全体の数値モデルの提案を東南アジアでの自動車部品の 3 種類のリバースフローを想定した輸送を例に行い、環境の面を LCA で評価した。結論として、使い捨ての包装材から標準化された再利用可能な包装材へ変更することで、経済的にも環境的にも良いことを示し、包装材の軽量化が輸送コストの削減に貢献することを示唆した。Young.Ko(2012)³⁷は、韓国の飲料業界におけるガラス瓶の標準化により標準化前と標準化後の競合社同士の流通の流れが異なることに着目し、費用便益分析を行い共通で使用されるような製品の標準化が経済的に良いことを示した。

2.4. 配送路問題と積載に関する研究

従来の配送路問題(vehicle routing problem)に対し、より現実的な分析に近づけるため、積載重量や配送経路で積載されていく荷造りの成約を考慮した研究が複数見られる。従来の配送路問題(vehicle routing problem)に対し、Iori and Martello(2010)³⁸が貨物の詰め合わせを考慮したモデルを考慮し、Alonso et al(2022)³⁹は、パレットのパッキング問題の制約を組み込んだ最適化問題のモデルを作成した。Iassinovskaia(2017)⁴⁰は、一般的な RTI に関する回収の流れを含めた最適化問題を取り扱った。

2.5. 研究目的と新規性

前節のように、RTI のことについて環境的側面、標準化による流通の流れの経済的改善効果に触れている研究が存在する一方、RTI のサイズそのものが与える輸送時の各種影響について述べている研究は特定の荷台を対象とし、かつ積載量について論じている文献以外は無かった。特に、輸送時の環境評価について RTI の容積や重量が影響を与えることについては言及しているものの、RTI の物理的性質について詳細に分析しているような研究は見られない。

以上より、本研究の目的は 3 つある。1 つ目は、RTI を貨物自動車に積載した場合、特にパレットを対象として規格で定められているサイズの各パレットが様々な荷台の床面利用率のどの程度を占めるのかを分析することである。2 つ目は、パレットに積載する貨物を段ボール梱包ではなく、プラスチックケースのような RTI に変更した場合、トラック荷台空間の容積、重量それぞれの積載率にどの程度の影響を与えるのか、そして輸送中のトラックから排出される CO₂の量に

どの程度の影響を与えるのかを調べることである。3つ目は、容積に着目し、RTIを巡る標準化の議論をどのように考えるかについての見解を述べる。

本研究の新規性はサプライチェーンマネジメント上におけるRTIが及ぼす積載率から発生する各種の影響について、寸法の観点から捉えることにある。サプライチェーンの物事の標準化を目指す傾向のある昨今において、RTIのサイズ、重量そのものに対して学術的観点から考察を行うことは大事である。特に今後登場するであろう π コンテナがサプライチェーン上で果たす影響を考察する上で、サイズ、重量の議論は欠かせない。本研究が社会的に貢献するところについて、現在我が国の方針はT11による標準化を進めるということで固まっているが、本当にそれが良いのかどうかということに関してその知見を与えることにある。また、時間が経ったあとでT11では不都合が生じてからでは遅い、つまり同じ議論を何度も繰り返すことになれば今回の政策は間違いであったことになりかねず、パレットに積載する各種ケース類のさらなる多様化につながる可能性がある。本研究の第3の目的である標準化の概念の考察はあくまでも積載率のみを考へるものとして、その他のパレットサイズが異なることによる作業の手間などは考へないものとする。

なおRTIに相当する用語は複数存在し、例えば、GS1⁴¹はReusable transport itemと記していたり、Returnable transport itemsと記していたり、同概念としてReusable transport packagingといった表記が存在するが、本稿では、Returnable transport itemsと示す。その定義について言葉は違うが、GS1⁴¹と同じものとする。

3. RTIの積載が輸送中の貨物自動車へ与える影響の分析に関する研究方法

本章は、研究の方法、また分析に使用する対象物の選定、ツールの説明をする。

3.1. 研究内容とパレット積載時の積載率の低下要因

研究内容は3つある。1つ目は、パレット寸法がもたらすトラックの積載率低下を分析すること、2つ目はパレットに折りたたみコンテナなどのRTIを積載した場合の重量の影響によるCO₂排出量の変化を分析することである。3つ目は以上を踏まえての考察を述べることである。

研究内容1つ目のパレット寸法がもたらすトラックの積載率低下について、まずは積載率低下が起こる原因を説明する。パレチゼーションによる荷台の積載率低下は、大きく容積と重量の2つに分けられる。1つ目の容積の積載率の低下要因は、図6で示した①～③の3つある。①は、パレットそのものの容積、②はパレットとトラックの荷台との間に生まれる空間、③は、パレットと段ボールなどのケースのサイズの関係で発生する空間、またケースそのものの容積である。本稿は今後、③の1つのパレットが積載可能な直方体の空間のことを「容積率」と定義する。以上の3つから容積の積載率低下が発生する。2つ目の重量の積載率低下は、荷台に指定されている最大積載重量(NET)がパレット、ケースの重量によってそもそもの最大値が減少してしまうことを指す。は、32枚のパレットが積載されているが、そのパレットの重量分だけ重くなる。株式会社日本パレットレンタル(以降JPR)の公表している本体質量⁴²を参考にすると、およそ640kgになりその分だけ貨物を積載できない。パレット寸法がもたらすトラックの積載率低下の分析は、まず容積に関連する床面利用率⁴³に着目し、2つの分析を行う。1つ目は、世界に流通する様々なトラック荷台に様々な種類のパレットを単種類で積載した際、パレットごとにどの程度の床面利用率になるか特徴を見る。2つ目は、2種類のパレットを積載した際の床面利用率の特徴を見る。

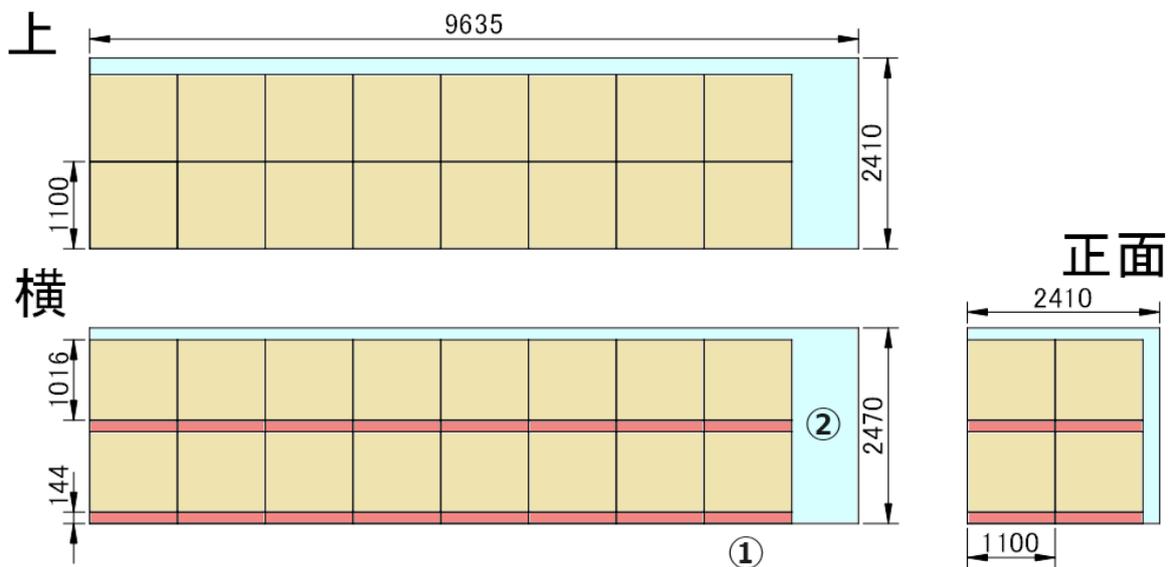


図6 パレット積載時の荷台の様子

研究内容 2 つ目の RTI 積載時における容積積載率の変化、CO₂排出量の変化の分析について、パレット積みによる容積積載率の低下以外にケースの厚み分だけ貨物を積載できる容積は減少することから、本分析を行うこととする。そして、CO₂排出量の変化について、実際の輸送はパレットだけでなく、段ボール箱のようなケースの重量が追加される。輸送中の貨物自動車から排出される CO₂の変動要因の一つに、積載重量がある。LCA の既存研究のいくつかに見られた RTI の重量が輸送中の貨物自動車にどの程度の影響を与えるのかを分析する。

なお、本研究の対象物は次の通りとする。

荷台 : トラックボディ(一体型になっているもの)、トレーラー、コンテナ

パレット : 規格化されているサイズ

パレットに載せるケース : 段ボール、プラスチックコンテナ(折りたたみコンテナなど)、クレート

3.2. 研究の対象物

本節は、研究対象物であるトラックの荷台やコンテナ、ケース(本稿では、パレットや折りコンなどの 2 次包装などに利用する物をケースということとする)といった RTI の寸法や耐荷重などについて収集した情報を示す。収集した情報を元に本研究で取り扱う対象物のサイズを決定する。

3.2.1. コンテナの決定

本項は、船舶での海上輸送で利用されるコンテナの寸法を決定する。対象とするコンテナは ISO で規定されているサイズの 20ft, 40ft, 45ft コンテナのドライと冷凍コンテナ (ハイキューブ、パレットワイドを含む)、そして日本の鉄道輸送で利用される 12ft コンテナ、31ft コンテナとする。寸法などはコンテナを取り扱う企業がホームページ上で掲載している数値を参照するものとする。対象企業は、海運企業、コンテナリース企業、3PL の 3 種類である。海運企業は Alphaliner TOP 100⁴⁴で載せられている上位企業、コンテナリース企業は TRITON 社が 2023 年に公開している⁴⁵2021 年のコンテナリース業界市場割合の資料に載せている上位企業、3PL は ARMSTRONG & ASSOCIATES, INC⁴⁶が公開している 2022 年 3PL の企業ランキングの上位企業と設定した。それぞれ参考にした企業名を Appendix に示す。

収集したデータ数は、全て合わせて 199 個である。各コンテナの寸法の概要を図 7 に示す。x 軸にそれぞれの寸法を取り、y 軸に寸法の値をミリメートルで取っている。ラベルの各寸法の [20 常温, 40 常温, 20 低温, 40 低温, 45 常温, 45 低温]は前の数値が 20ft, 40ft, 45ft を表し、後の常温はドライコンテナ、低温は温度を変更できるようなコンテナを表す。各線は、ISO で規定されているサイズを表す。各寸法と重量を図 8, 9, 10 に示す。床面積と最大積載重量の分布図を図 11 に示す。それぞれのコンテナで外れ値にあたるサイズはさほど見られず、大体が ISO の規定のサイズに従っていることがわかる。冷凍コンテナは、温度調節の装置を取り付け、かつ壁を厚くしている都合上ドライコンテナより寸法が多少短くなっていることがわかる。内寸の高さに幅があるのは、ハイキューブコンテナを含むためである。最大積載重量は、各コンテナで 28000 に近い数値に集まっており、40 低温のみ 28000 を超えた値が大きく見られた。床面積と静荷重の関係は特に大きな特徴は無く、それぞれのコンテナサイズごとに値が固まっていることがわかる。

本研究で対象とするコンテナのサイズは、収集した寸法データのサイズに大きな特徴が見られなかったことから、コンテナリース企業のトップに位置する TRITON 社のサイズを採用することとする(表 k)。

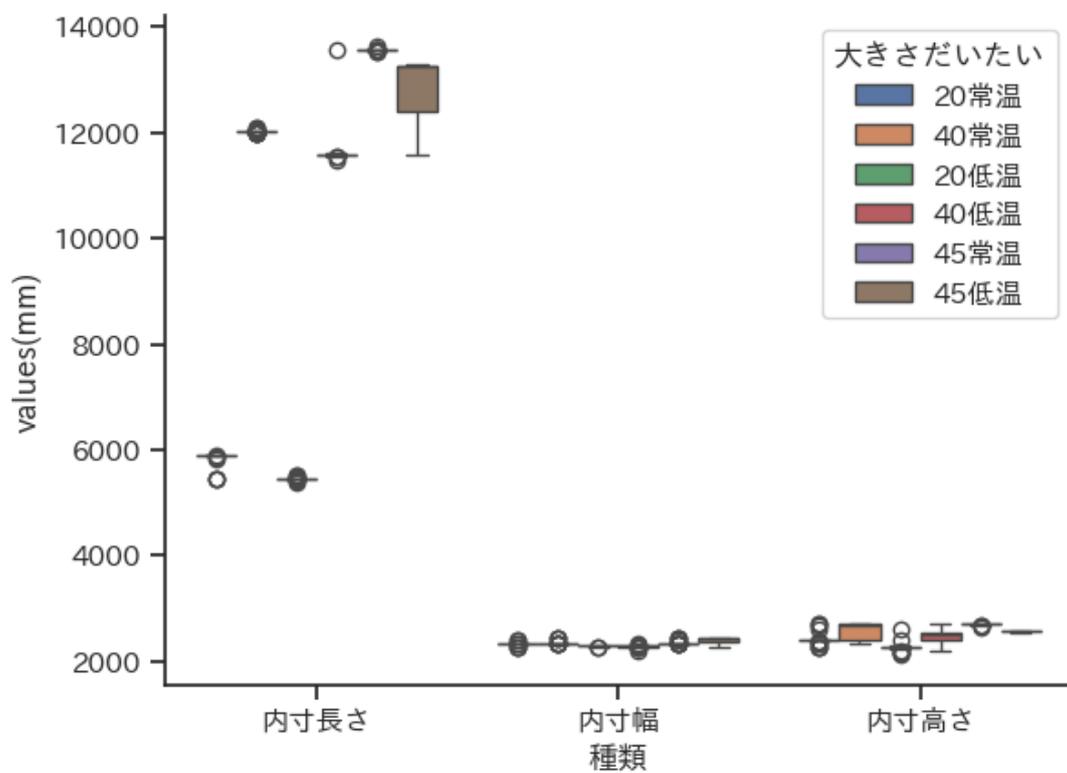


図 7 コンテナの各寸法の概要図

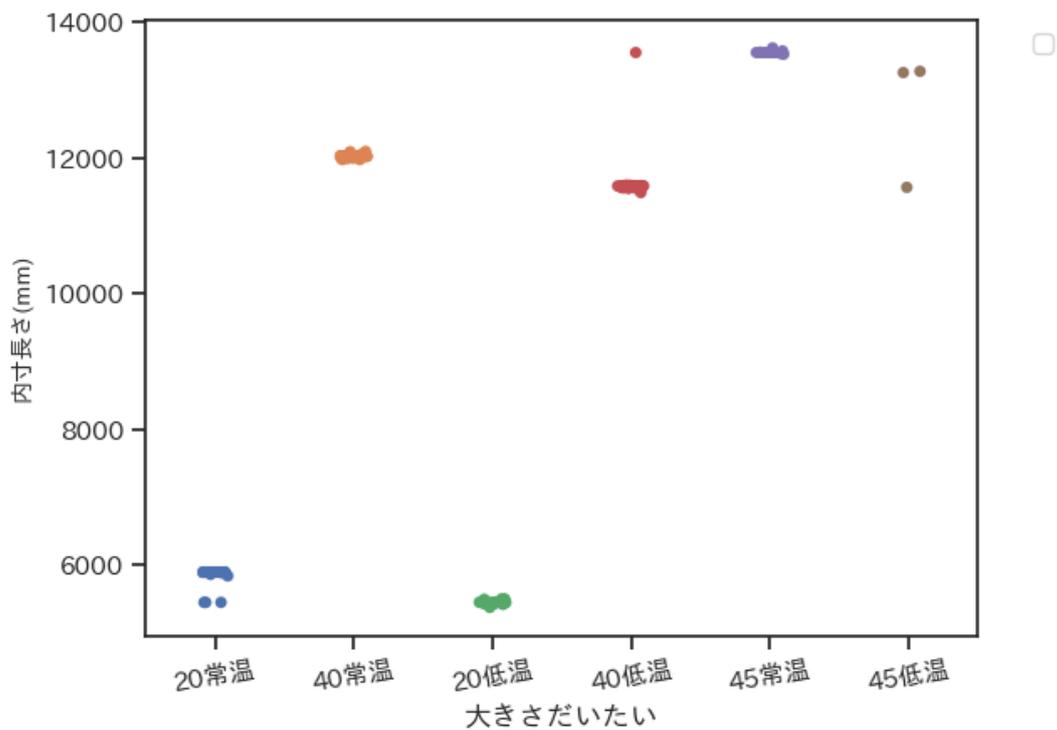


図 8 各コンテナの長さ

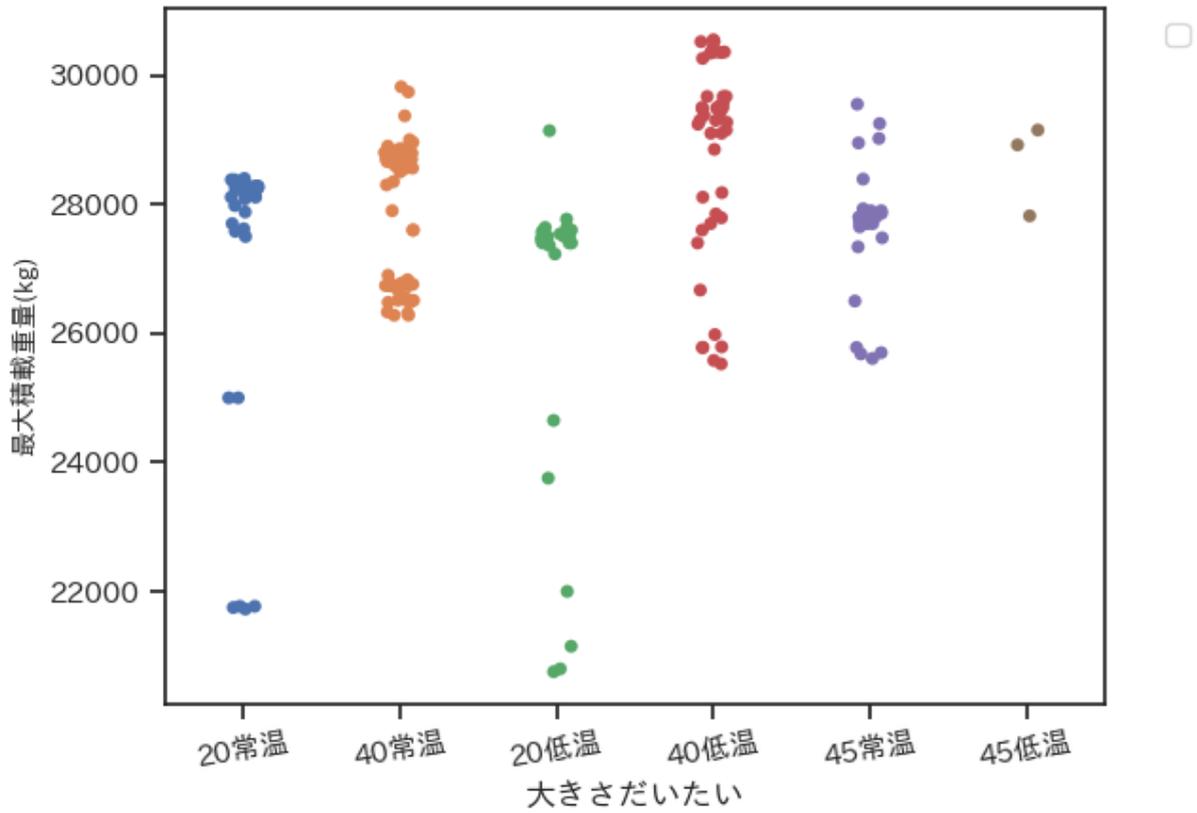


図 11 各コンテナの最大積載重量

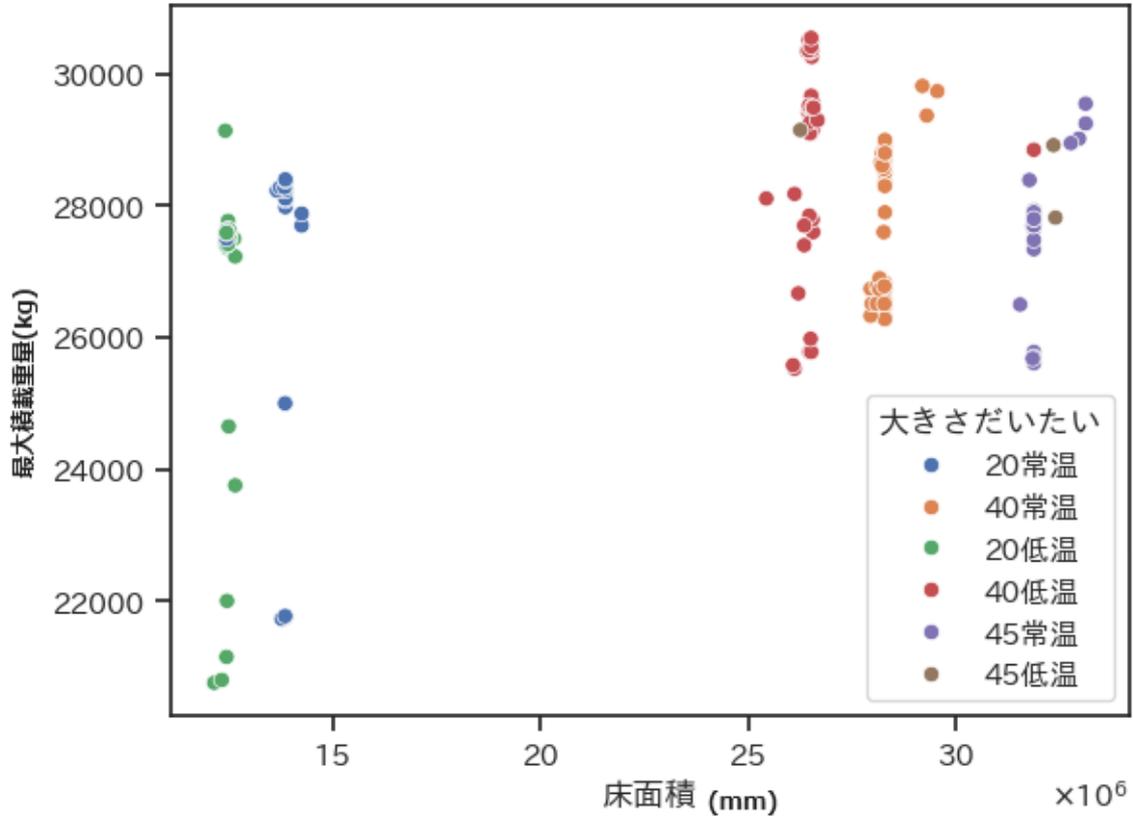


図 12 各コンテナの床面積と最大積載重量の分布

3.2.2. トラック荷台、セミトレーラー荷台部分の決定

トラック荷台(セミトレーラー)やセミトレーラーの荷台の寸法を決定するにあたり、3.2.1で決定したコンテナの方法と同じく荷台部の製造業のシェア割合を調べた。調査の対象地域は、今回のパレット積付け割合を調べるにあたり標準規格のサイズに多いに関係のある、日本、ヨーロッパ、北アメリカ、オーストラリア、アジアである。結果としてシェア率がわかったものは、ヨーロッパ、北アメリカである。そのため、本研究の対象とする荷台部分の寸法は、シェア率のわかっているヨーロッパ、北アメリカの荷台製造企業、またシェア率は不明であるが国内の問題を取り扱う必要性から日本企業の貨物自動車製造企業、また荷台製造企業のホームページ、カタログから値を抽出した。ヨーロッパ、北アメリカの企業は共に **THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION**⁴⁷の公開している資料の2016年EU内の製造シェアの企業を参考に各企業のホームページで掲載している値を参照した。日本の企業はフルハーフ、トレクス、トランテックスなどのトレーラー企業、そしてボックス型の荷台のトラックを対象とする貨物自動車会社とした。これらに加え、3PL企業のうちトラックの荷台情報についてホームページで掲載している荷台寸法などの数値を用意した。参考にした企業名はAppendixに示す。アメリカ企業から得られた情報は多くがインチ表記であったため、筆者がメートル換算した数値である。企業の中には、寸法情報を数値の表ではなく高さを複数、長さや幅の組み合わせの表で掲示していたものもあったため、本研究ではそれぞれの組み合わせの荷台を1つずつ作成することで対応した。最大積載重量に関して、北アメリカの企業は多くがホームページに軸荷重を載せており情報を得られず、ヨーロッパの企業は不明な企業もあった。日本の企業のうち、代表的な荷台寸法値を掲示しているものについては、その数値を参照した。収集したデータ数は、トラック荷台、セミトレーラー全て合わせて1285個である。各トラック、トレーラーの寸法の概要をそれぞれ図13, 19に示す。各寸法を図14~16, 20~21に示す。NETの情報を図17, 22に示す。床面積と静荷重の分布図を図18, 24に示す。

この内、本研究で対象とするサイズは特徴がはっきりとしなかった。今回の研究対象物について、ヨーロッパのトラック荷台は特に情報が得られなかったためデータを参考にランダムに数値を選んだ。セミトレーラーの寸法は、**European Automobile Manufacturers' Association**⁴⁸の資料を参考に13.720mに近い数値の物を対象とする。また、アメリカのセミトレーラーの寸法は、**American Transportation Research Institute**⁴⁹の資料を参考に28ft、53ftに近い数値のコンテナサイズを対象とした。日本の荷台の決定については、どのサイズが多く使われているかが不明であった。そのため、道路交通法で定められている中型車と大型車の2つを対象に最大積載重量、総重量が各車種に当てはまるような荷台情報を日本企業のカタログから、ランダムに選び寸法を作成した。実際に対象とした寸法については表1に示す。

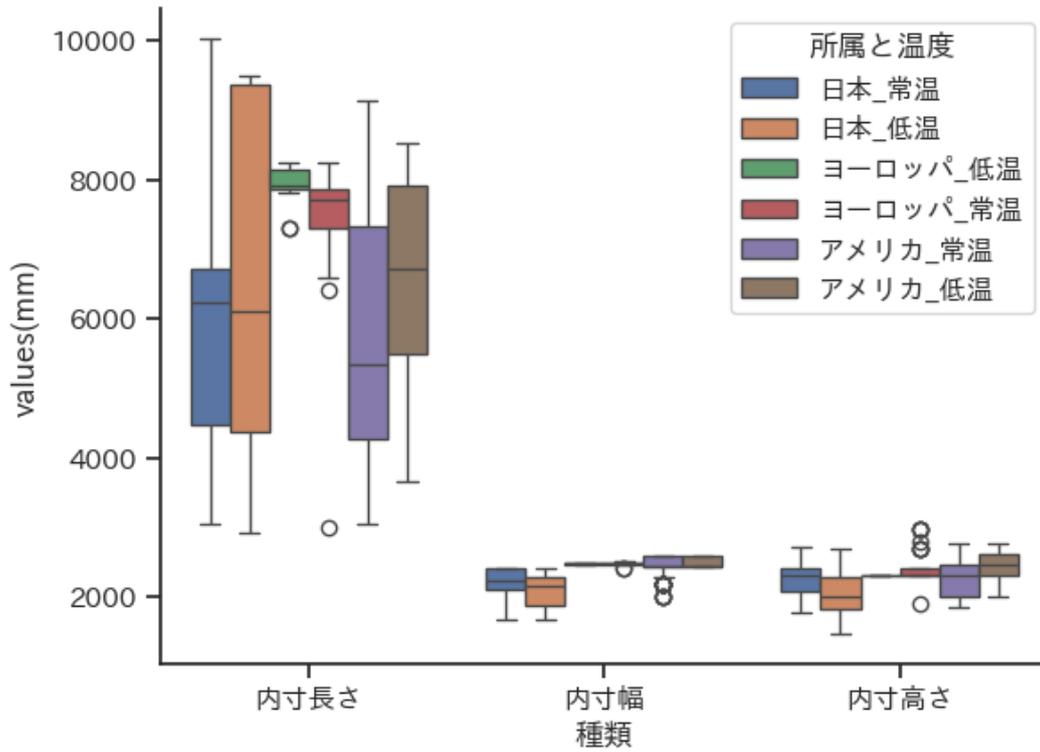


図 13 トラックの各寸法の概要図

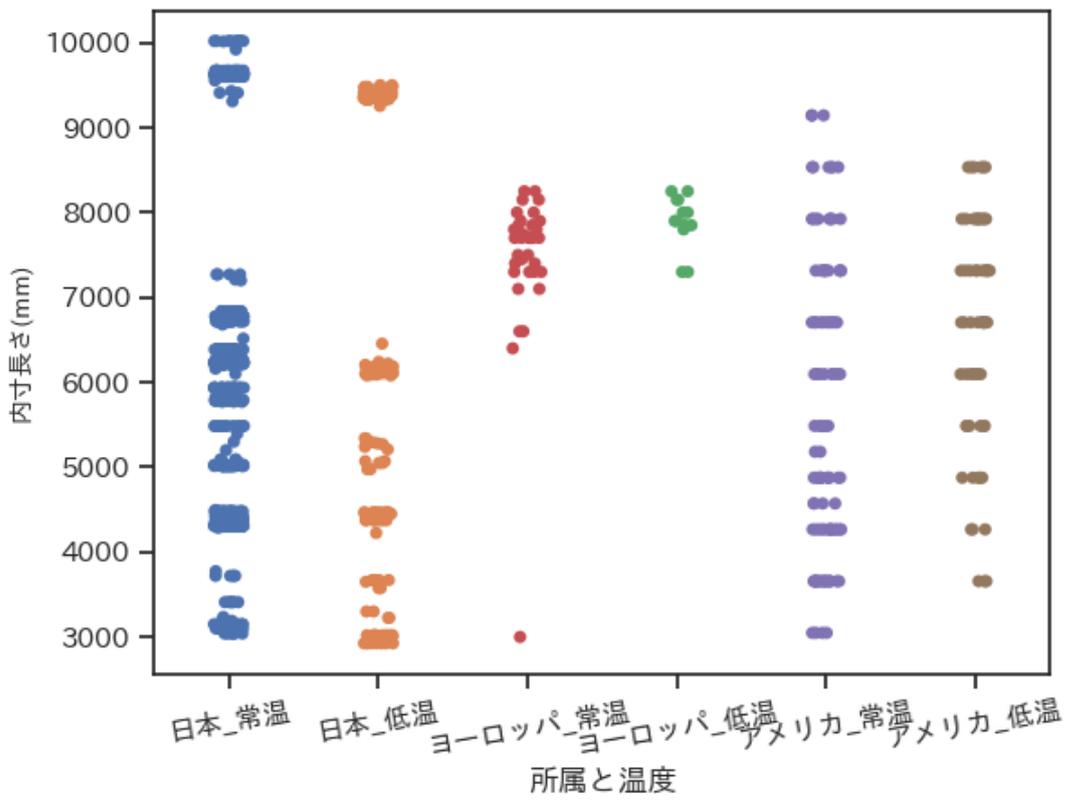


図 14 各トラックの長さ

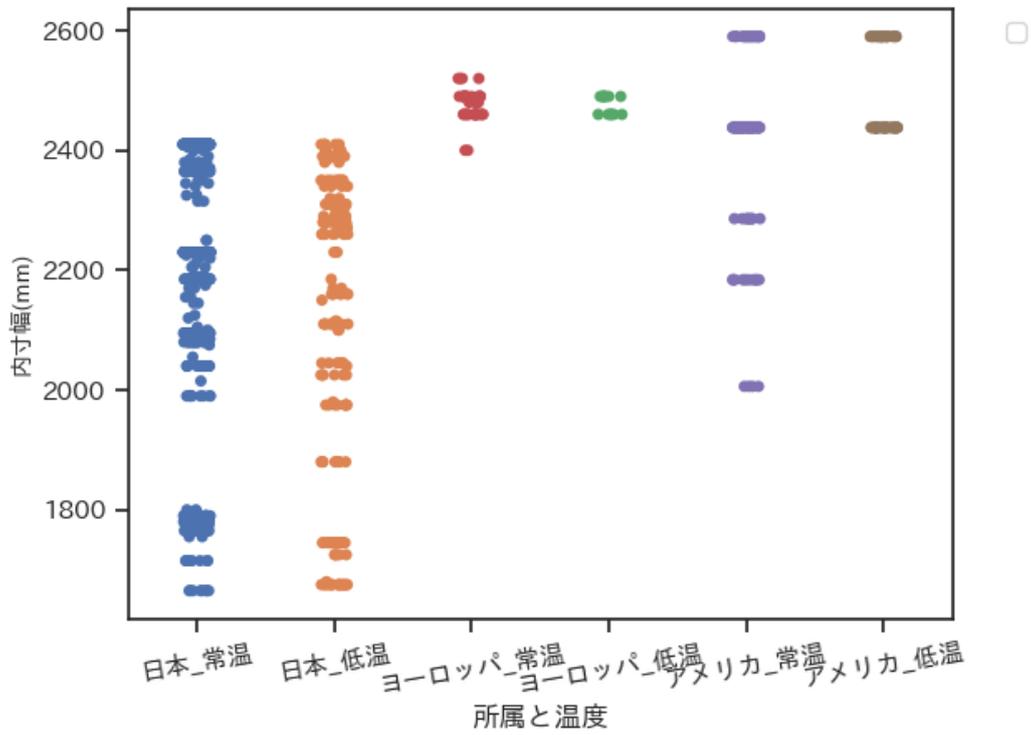


図 15 各トラックの幅

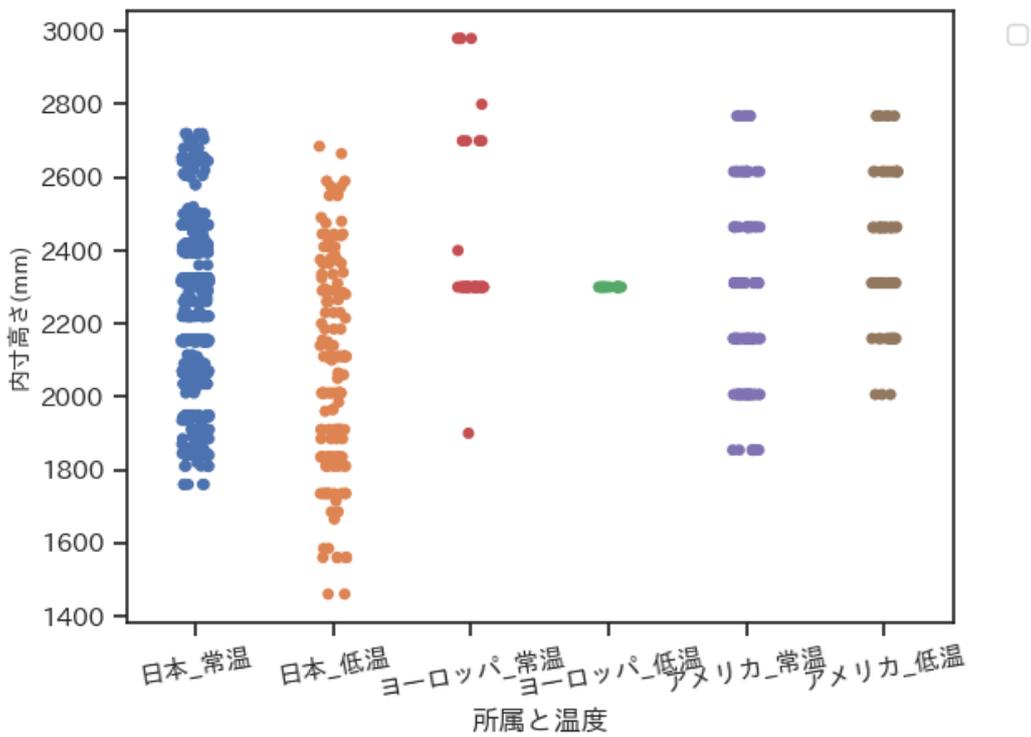


図 16 各トラックの高さ

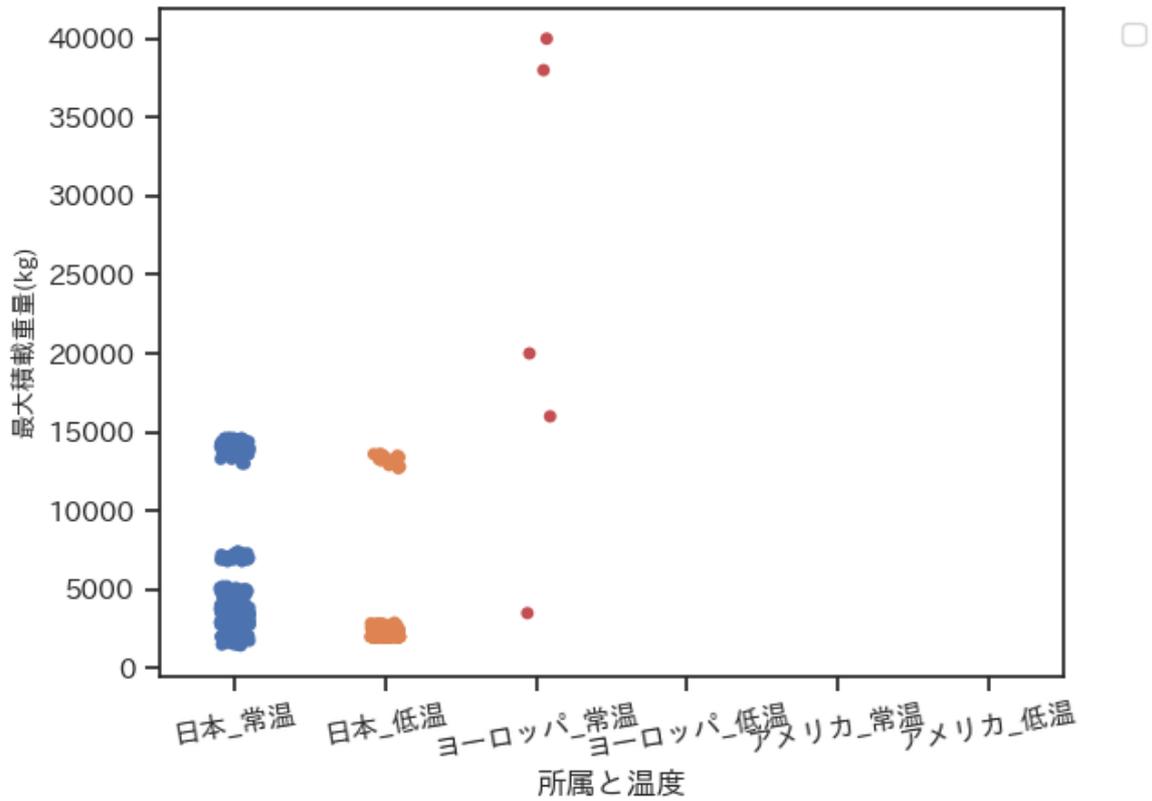


図 17 各トラックの最大積載重量

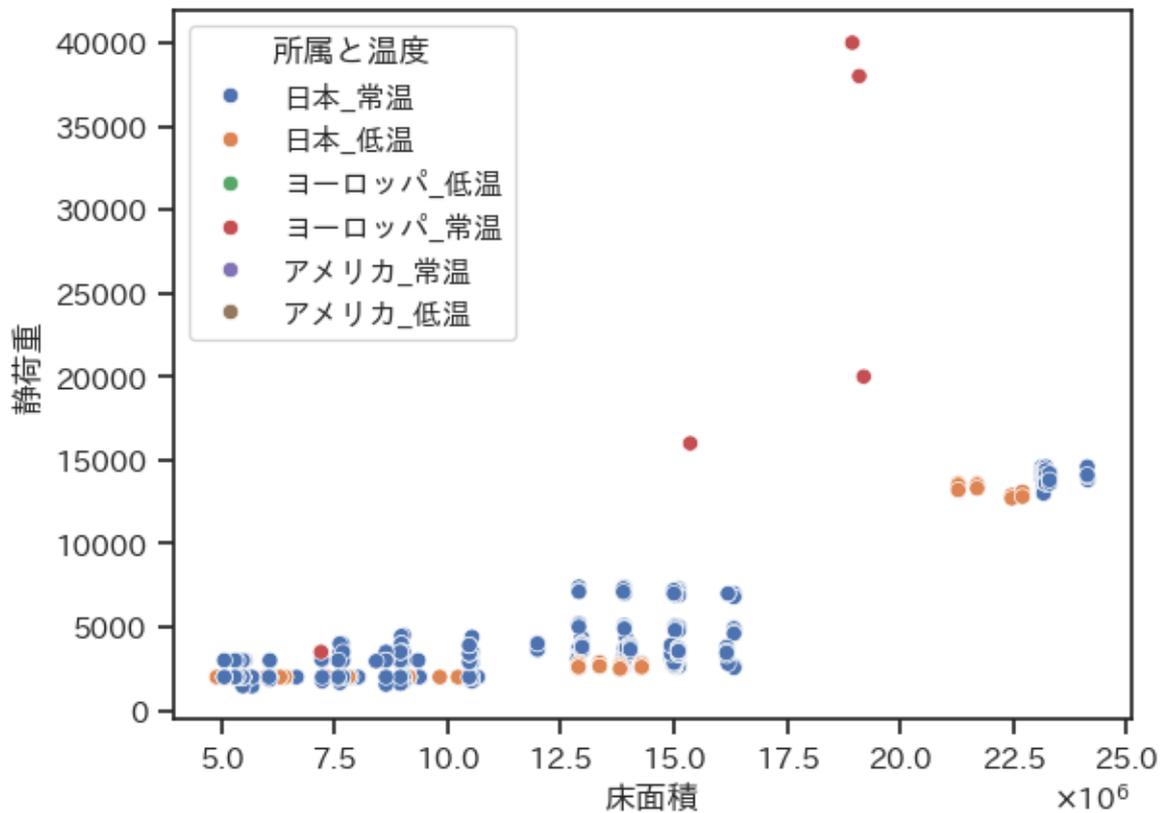


図 18 各トラックの床面積と最大積載重量の分布

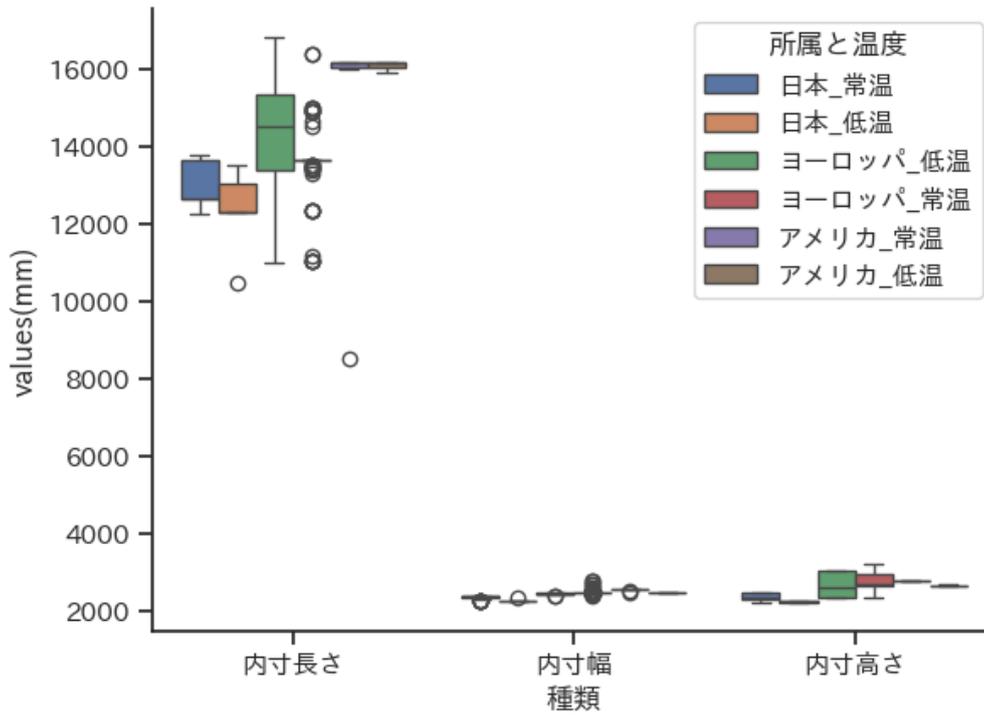


図 19 各セミトレーラーの寸法の概要図

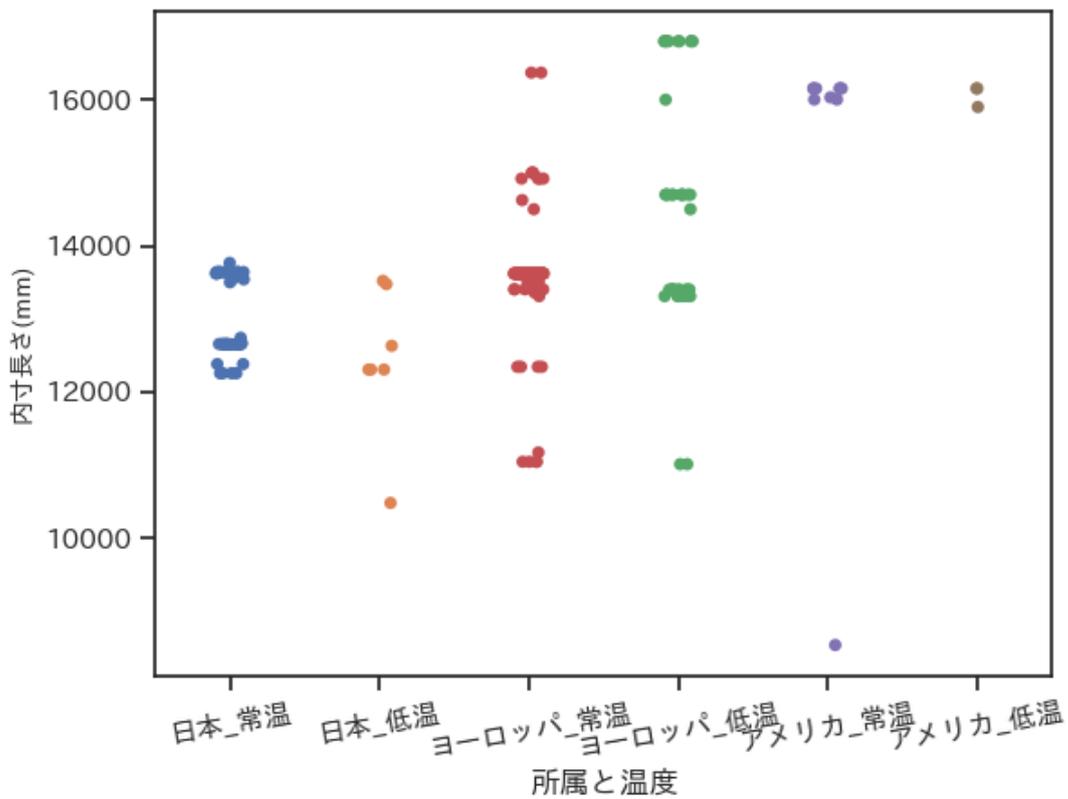


図 20 各セミトレーラーの長さ

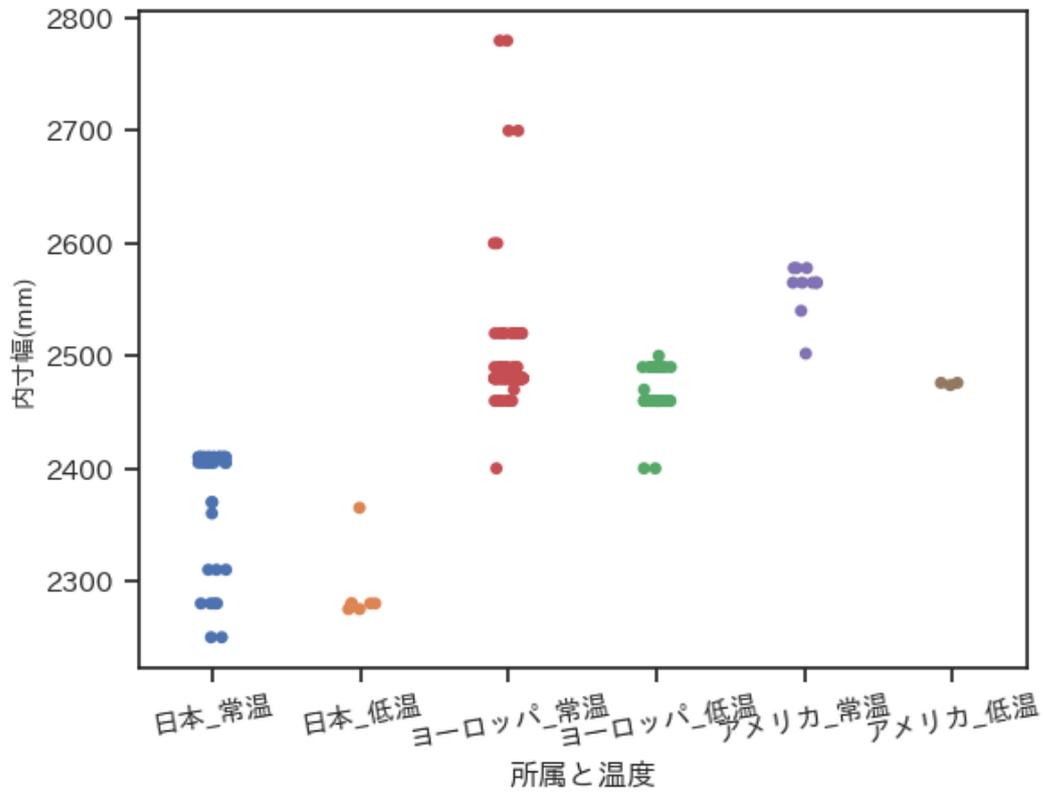


図 21 各セミトレイラーの内寸幅

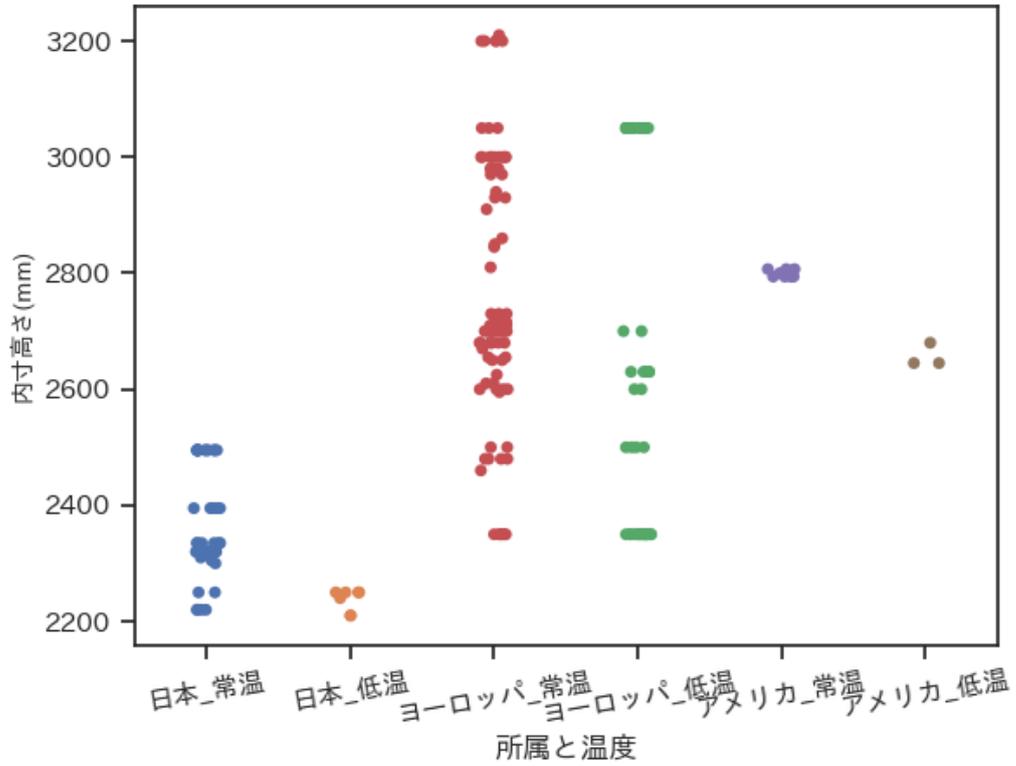


図 22 各セミトレイラーの内寸高さ

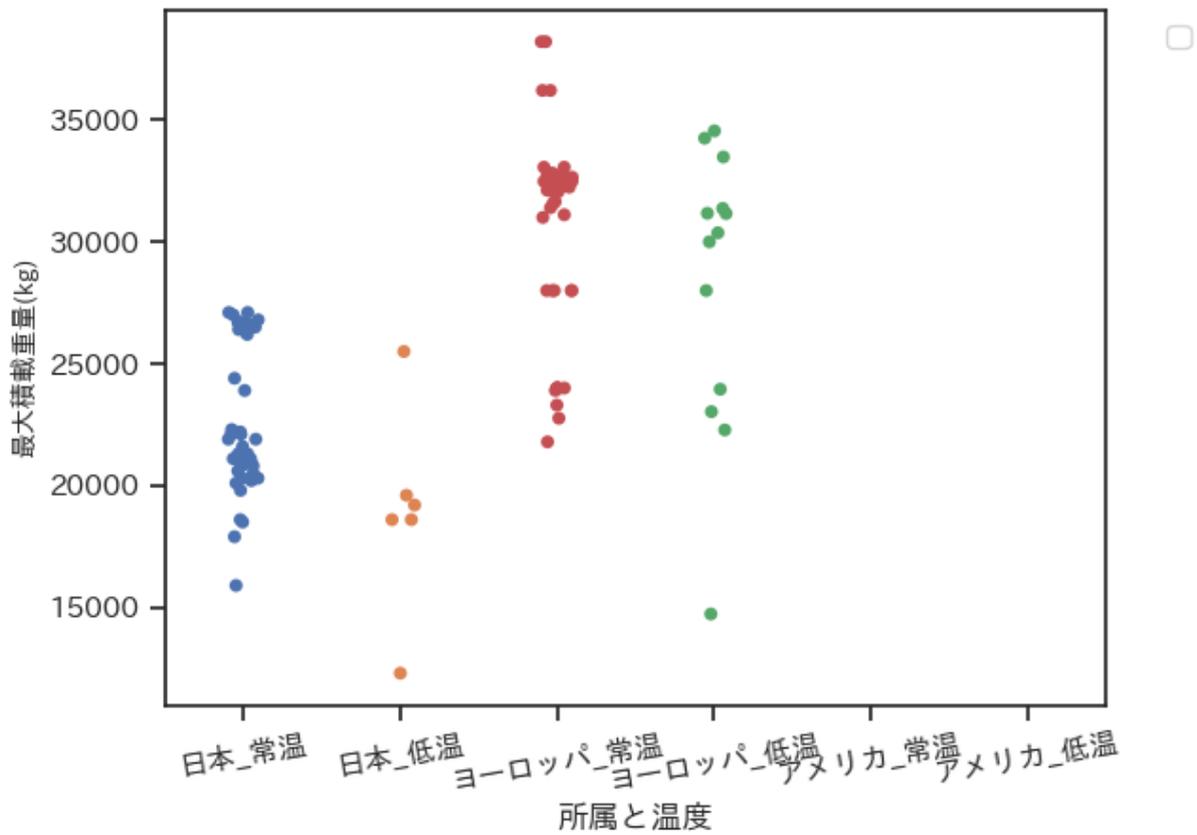


図 23 各セミトレーラーの最大積載重量

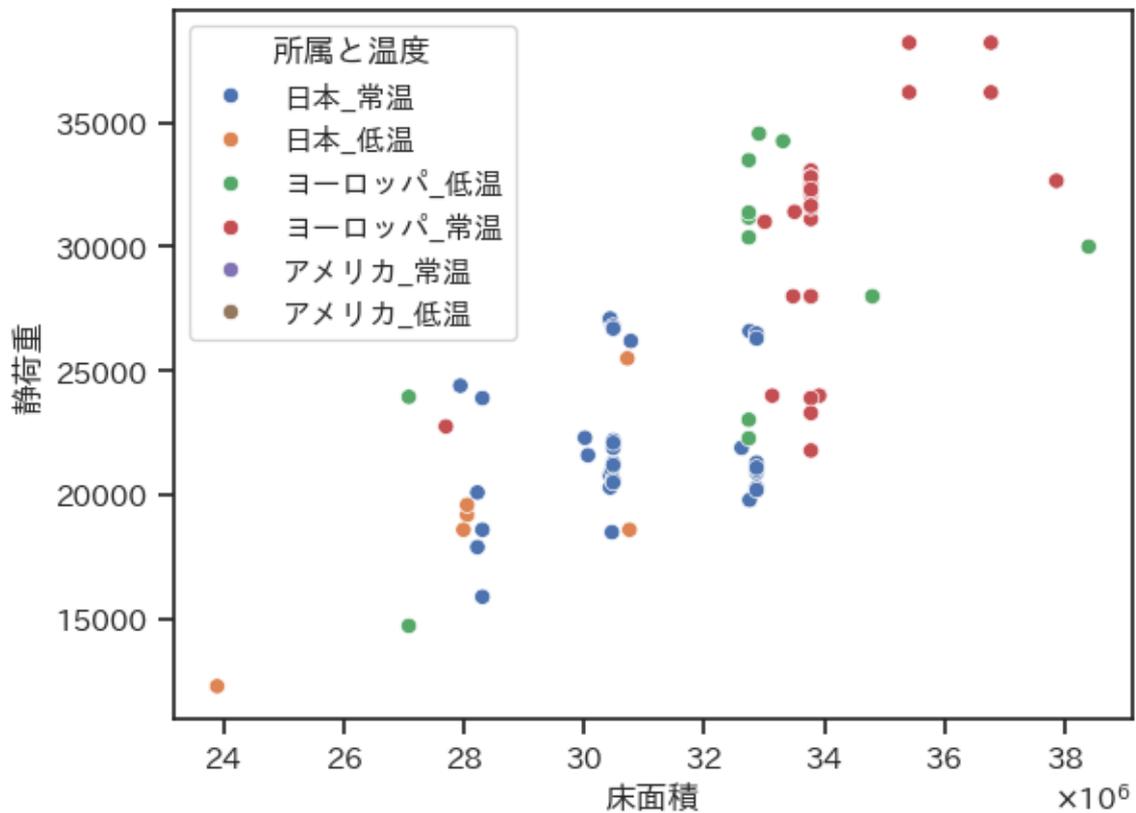


図 24 各セミトレーラーの床面積と最大積載重量の分布

3.2.3. スワップボディコンテナの決定

スワップボディコンテナとは、車体と荷台を分離でき、分離中の荷台で荷役作業ができるようなコンテナのことである⁵⁰。参考にした資料は、3.2.1 と 3.2.2 で参照した企業の中からスワップボディコンテナの寸法情報を出しているものとした。日本企業についてデータはあるが数量は少なく、海外の企業もデータは多く集まらなかった。収集したデータ数は、全て合わせて 19 である。各コンテナの寸法の概要を図 25 に示す。データ数が多くないこと、そしてどのようなサイズが多いかは不明だったため、収集したデータからランダムに選んだ。

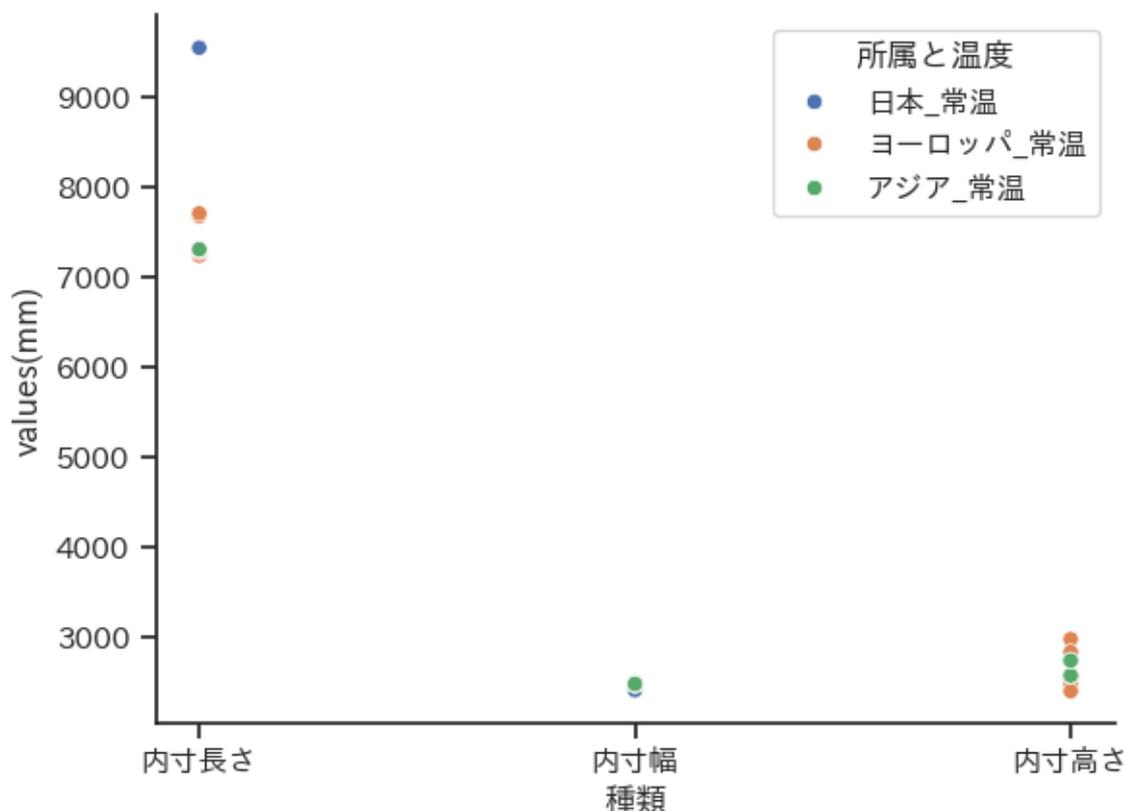


図 25 各スワップボディコンテナの寸法の概要図

3.2.4. パレットの決定

1 章で説明したようにパレットのサイズは多く存在する。国際的な規格から国単位での規格で規定されているもの、規格とは別に企業または業種独自で利用、開発した寸法のパレットが存在することでその種類が多くなった。各国のパレットサイズなどは標準化を進めている国土交通省の調査により、資料が公表されている。本研究で対象とするパレットを表 1 に示す。各サイズは ISO で規定されているサイズを対象としており、1100×900 のみ日本のビール業界などで使用されるビール 9 型プラスチックパレット⁵¹(図表内では P パレットと記す)の値を参照した。基準の 1 つである 42 インチパレット 1067×1067 を使用しないのは 3.2.1-3.2.3 で示したコンテナの寸法的に T11 サイズのパレットより積載率が低くなることははっきりとしているためである。また、重量は全て等しく 20kg と仮定する。パレット重量は素材によって大きな影響を受け、多くの場合

は、安価な木製が多く使用される。一方プラスチック製、再生プラスチック、ウッドプラスチック製など多岐にわたる。2章で説明したようにこの素材によって、耐久性や重量、貨物の滑りやすさが決まることから、パレットを利用する上では大事な指標の1つとなる。近年はパレットの軽量化が行われているが、耐久性を考慮し、JPR⁵²でも掲載されているような20kgとした。

3.2.5. ケースの決定

パレットに積み込むケースについて、素材を再使用可能なプラスチックと一度利用したら廃棄又はリサイクルに回される段ボール製のものに分ける。この内、プラスチック製容器に関しては、一般的に利用されるような折りたたみコンテナのような容器とクレートの2種類の容器に分ける。クレートを考慮した理由について、我々が生活している中コンビニなどでその姿を度々見かけるためである。(推移のグラフ)以上の3つを対象とし、その寸法、耐荷重を表1に示す。貨物を積載した場合の貨物が利用できるスペースを比較するため、プラスチックケースと段ボール箱の外寸は同じとする。プラスチックケースは、GS1で規定されたsmartboxのサイズ、重量を参考にし、加えてJISで規定されているモジュールのサイズを加えた。JISの内寸や重量は記載がなかったため、smartboxの厚みと同じで計算した内寸、密度を平均して箱の容積とかけて求めた重量とした。段ボールの内寸はボール紙の厚さを5mmとし、重量は全て統一して1kgとした。クレートのサイズは、物流クレート標準化協議会で規定されている食品クレート標準規格の寸法を参照し、重量はJIS規格サイズの重量の求め方と同じにした。

3.2.6. 決定したコンテナ情報

決定したトラック荷台、コンテナの内寸長さと同幅の分布を図 26、床面積と容積の分布を図 27、容積と重量の分布を図 28 に示す。内寸の長さは 3000mm 代～16000mm 代まで別々であるが、内寸の幅、高さはだいたい同じであることがわかる。最大積載重量については、5000kg、15000kg、25000kg にだいたい近い値となっている。

表 1 研究対象の荷台サイズとパレット、ケースの各種情報

名称	dim(mm) L,W,H			NET(kg)	名称	dim(mm) L,W,H			NET(kg)
triton_d_20	5898	2352	2393	28380	truck_jpn_mid_478	6235	2230	2320	5775
triton_d_40	12032	2352	2393	28960	truck_jpn_mid_513	6235	2410	2325	5855
triton_r_20	5454	2288	2263	27600	truck_jpn_lar_10	10020	2410	2635	13800
triton_r_40	11588	2288	2544	30340	truck_jpn_lar_6	9675	2410	2500	14200
seaco_d_20_pw	5899	2418	2698	27700	truck_jpn_ref_mid	6165	2310	2110	5855
cma_d_40_pw	12095	2444	2692	29740	truck_jpn_ref_lar	9500	2390	2440	13100
jr_12	3647	2275	2252	5000	truck_eu_999	8250	2460	2300	28000
jr_31	9245	2350	2210	13800	trailer_us_28_1129	8534	2578	2800	28000
swap_jpn_783	9425	2285	2245	12800	trailer_jpn_lar	13620	2405	2305	26600
swap_euro_1028	7310	2470	2517	12800	trailer_eu_mid_1034	13620	2480	2600	33060
swap_asia_1507	7310	2470	2730	12800	trailer_us_53_1297	16154	2578	2794	24789

名称	dim(mm) L,W,H			NET(kg)	Tare(kg)	名称	dim(mm) L,W,H			NET(kg)	Tare(kg)
EURO	800	1,200	144	1000	20	12	1,000	1,200	144	1000	20
T11	1,100	1,100	144	1000	20	US	1,219	1,016	144	1000	20
Aus	1,165	1,165	144	1000	20	Pパレ	1,100	900	144	1000	20
GS1_typeB	367.00	267.00	188.50	30	1.7	JIS_B2	567.00	467.00	188.50	30	2.38
GS1_typeE	567.00	367.00	188.50	30	2.57	JIS_C2	517.00	333.00	188.50	30	3.17
cbb_typeB	390	290	201	30	1	cbb_B2	590	490	201	30	1
cbb_typeE	590	390	201	30	1	cbb_C2	540	356	201	30	1
crate_st1st	520	334	110	20	1.4	crate_st2ha	400	210	126	20	0.81
crate_st2de	490	400	126	20	1.43	crate_st2sh	490	400	86	20	1.26

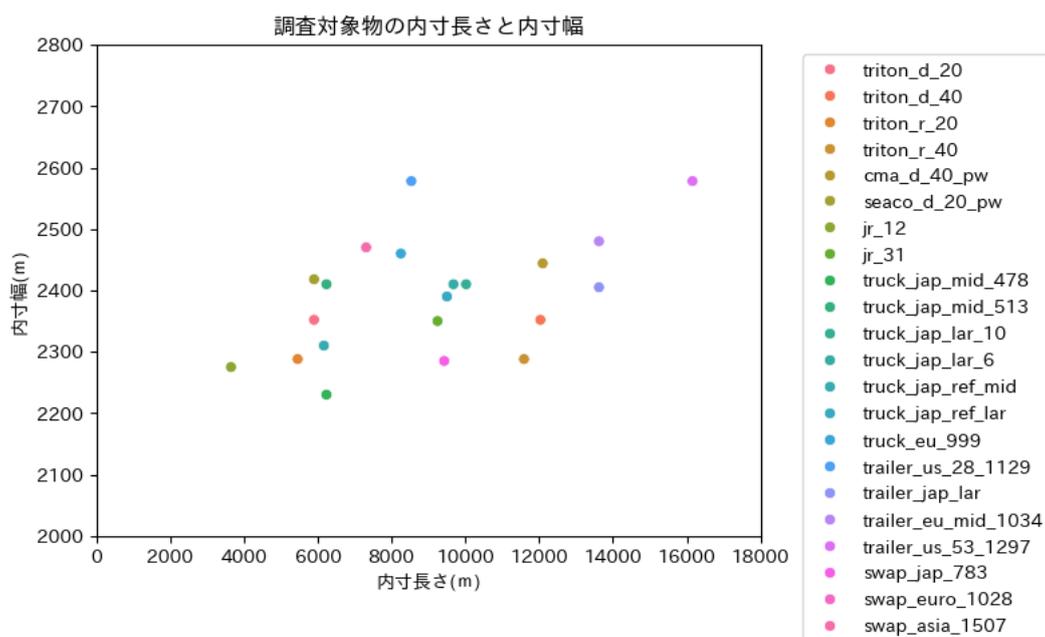


図 26 調査対象物の内寸長さと同幅の分布

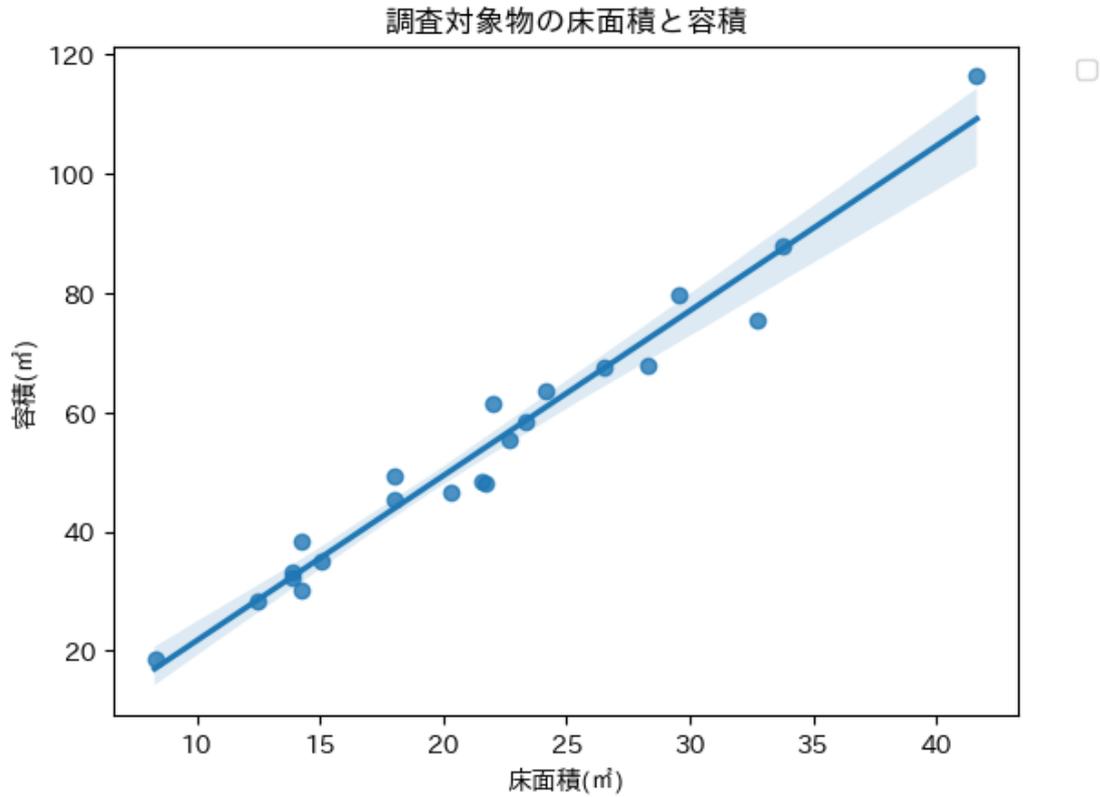


図 27 調査対象物の床面積と容積の分布

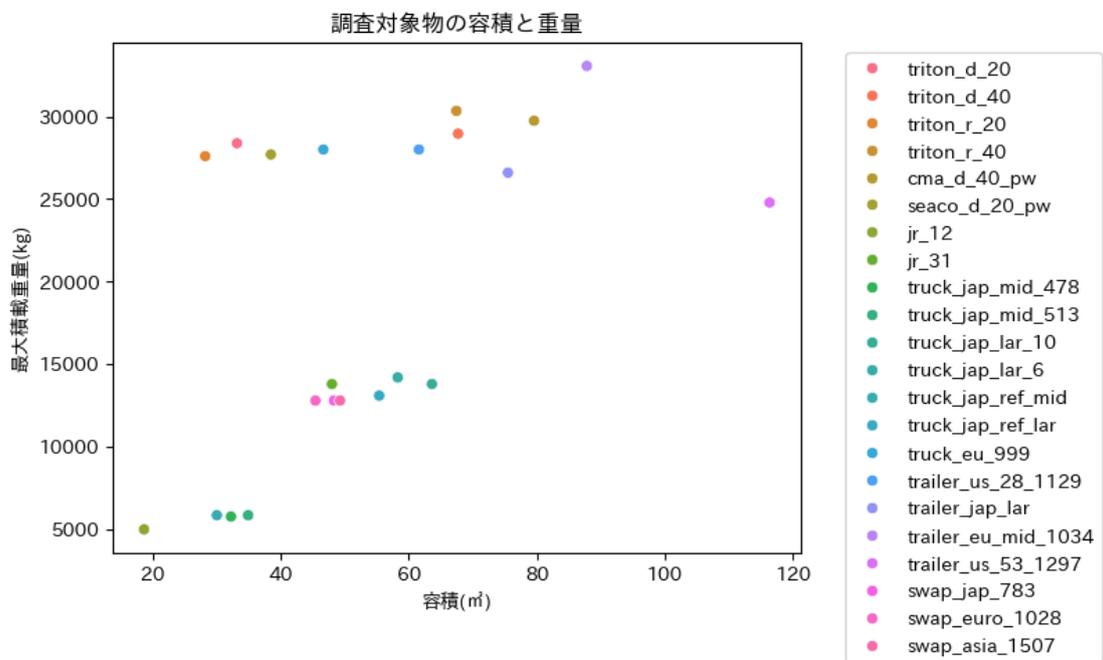


図 28 調査対象物の容積と重量の分布

3.3. 荷積みアルゴリズムと設定について

研究内容 1、2 の荷台へのパレットの積付け、パレットへのケースの積付け方法は、2次元ナップサック問題を解くライブラリである `secnot` 氏の作成した `python` の `rectpack` ライブラリ⁵³を使用した。アルゴリズムは、`Jylänki,J.(2010)`⁵⁴で記載されているものから構成されており、`MaxRects`、`Skyline`、`Guillotine` の大きく 3 つに分かれており、合計 28 個分備えている。

問題を解く際のサンプルを以下に示す。⁵⁵

```
from rectpack import newPacker

rectangles = [(100, 30), (40, 60), (30, 30),(70, 70), (100, 50), (30, 30)]
bins = [(300, 450), (80, 40), (200, 150)]

packer = newPacker()

# Add the rectangles to packing queue
for r in rectangles:
    packer.add_rect(*r)

# Add the bins where the rectangles will be placed
for b in bins:
    packer.add_bin(*b)

# Start packing
packer.pack()
```

`bins` にコンテナサイズ、`rectangles` に積載するパレットの種類を枚数分セットする。`newPacker` でアルゴリズムの指定や詰め込む長方形サイズが事前にわかっているか、長方形の向きを変えられるかどうかなどを設定する。デフォルトのアルゴリズムは、`MaxRectsBssf(Maximal Rectangles Best Short Side Fit)`になっている。

本ライブラリを用いて、まずは研究内容 1 のトラック荷台へのパレットの積付けを設定する。単種類のパレットの積み付けと 2 種類のパレットの積み付け、両方の結果を得るため、コンテナ X に 2 種類の A と B のパレットを利用した例を紹介する。

まずは、コンテナ X の床面積(`X_area`)を A のパレット面積(`A_area`)を割り、数値上で本来積載できた A の最大のパレット枚数(`A_num_max`)を求める。A の最大のパレット枚数から 1 ずつ引き 0 になるまで、コンテナ X の床面積から A のパレット枚数分(`A_num_i`)の面積を引いた余りを B のパレット面積(`B_area`)で割り、コンテナ X の床面積の余った部分に数値上で積載できる B のパレット枚数(`B_num_i`)を求める。あとは、`rectpack` ライブラリを用いて、コンテナ X に `A_num_i` 枚のパレット A と `B_num_i` 枚のパレット B を `i=0~max` 枚×アルゴリズム 28 個分を計

算させ、それぞれの実際はいる枚数を算出する。そして、 $\max \times 28$ 個の結果の中から、 A_num_i の床面積の最大値の物を抽出する。A から割ったデータだけではなく、B から割ったデータも出し、それぞれのデータで被りが無いよう整理した。

このような作業を行ったのには理由が 2 つある。1 つ目の理由は、デフォルトのアルゴリズムでは、図 29 に示すような結果が出てしまい、まだ積み込めるような状況が出たからである(描画は⁵⁶を参考)。2 つ目の理由は、あくまでも本ライブラリは設定した各長方形の個数で最大に積み込める個数を結果として出すような設定になっているからである。仮に $A_num_i=10, B_num_i=5$ のパレット枚数を設定してプログラムを回した結果 A の枚数 8 枚、B の枚数 4 枚のようになり、 $A_num_i=10$ の時の欲しい数値が得られないケースが見られた。

次に、研究内容 2 につながるケースの積付けのパレットへの積付けは、1 つのパレットに単種類のケースを積載する仮定の元でプログラムを実行し、一番床面積が多くなるアルゴリズムを選定した。高さ方向は、フォークリフトでの荷役を想定し天井から 15cm ほどの余裕を持つこと(図 1 の XXX にあたる部分)として計算した。一つのパレットに積載できるケース個数を求め(C_num)、トラックへのパレットの積み付けた条件下で C_num を反映させ、実際に貨物を積み込める内寸の容積、RTI の全重量を算出した。(S)

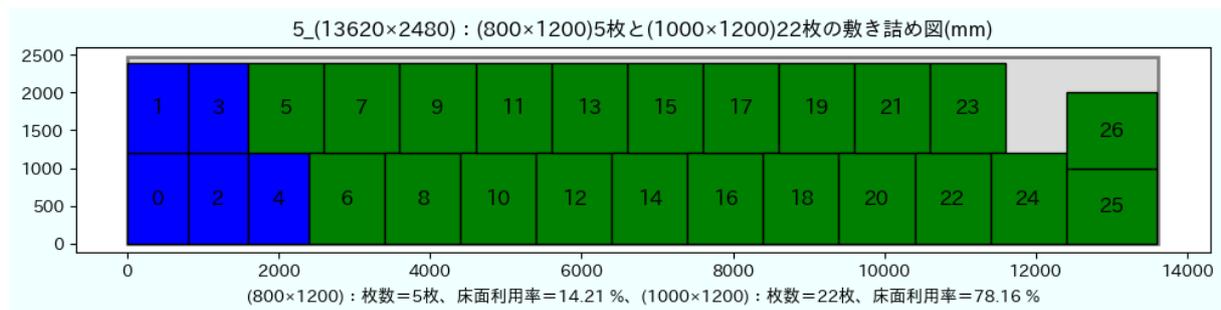


図 29 組み合わせの失敗図

3.4. CO₂排出量の計算方法について

研究内容 2 つ目の CO₂排出量の計算は、積載率の変化が絡むことから改良トンキロ法(zz1 を参考に状態 S の貨物 1 トンキロあたりの値を算出する。谷田⁵⁷は、段ボールのようなケースと T11 パレットのサイズ上で発生する隙間を容積率と仮定して、その変化が輸送中のトラックから排出される CO₂排出量にどの程度の影響を与えるかについて評価を行った(図 30)。図 3 の①にあたる部分は、荷台とトラックのサイズ上で発生する隙間によるバラ積みとパレット利用時の CO₂排出量の差分である。これは特定の貨物車を対象に分析を行った結果であるが、実際の世界には数多くの荷台、コンテナが存在し、そのサイズも最大積載重量も異なる。よって、図 3 の結果は上下にグラフが動くことになるがその振れ幅はわかっていない。図 31 は、今回対象とするコンテナが最大積載重量を満たした時の貨物トンキロあたり CO₂排出量である。最大積載重量の高いコンテナと大型トレーラー類は、CO₂排出量は比較的 low、それ以外の特に国内で利用するトラックは最大積載重量が低い値であるため、大型トレーラー類に比べ CO₂排出量が高くなっていることがわかる。上述の振れ幅について、改良トンキロ法では、元の最大積載重量の値が CO₂排出量に大きく

影響することから、RTI 積載時と段ボール積載時を比較した時にケースの自重が及ぼす影響値が変化することが考えられる。そのため比重を 0.2, 0.4, 0.6 t/m³ に設定し、比重ごとに CO₂排出量を算出し、振れ幅の程度を分析する。

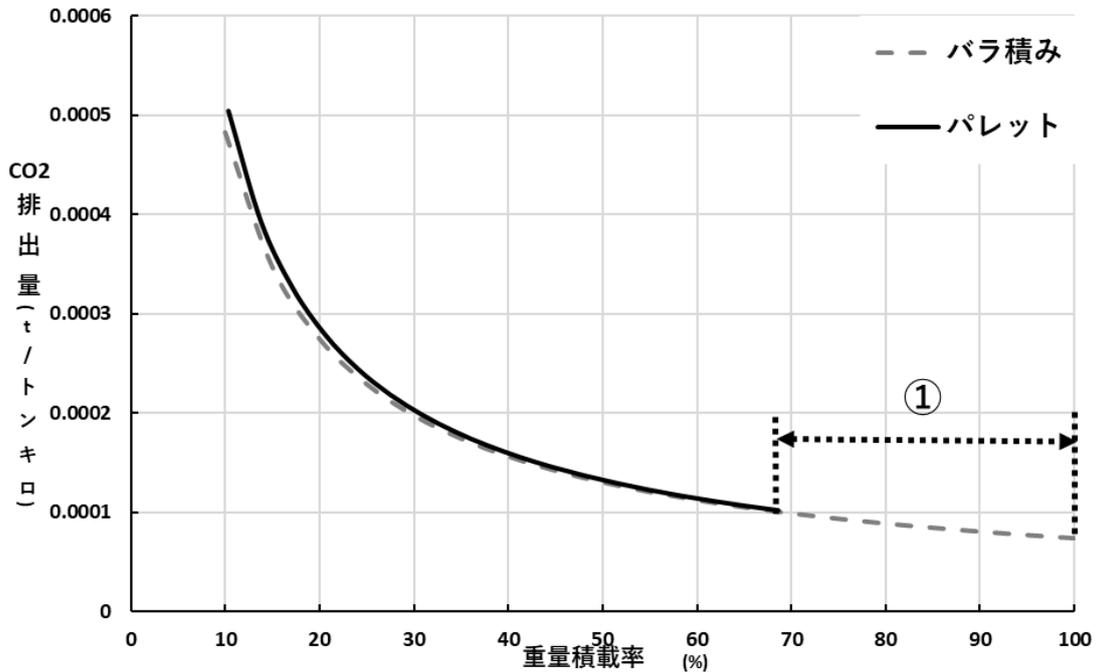


図 30 容積率変化時のトンキロあたり CO₂排出量
(出典：谷田&黒川(51))

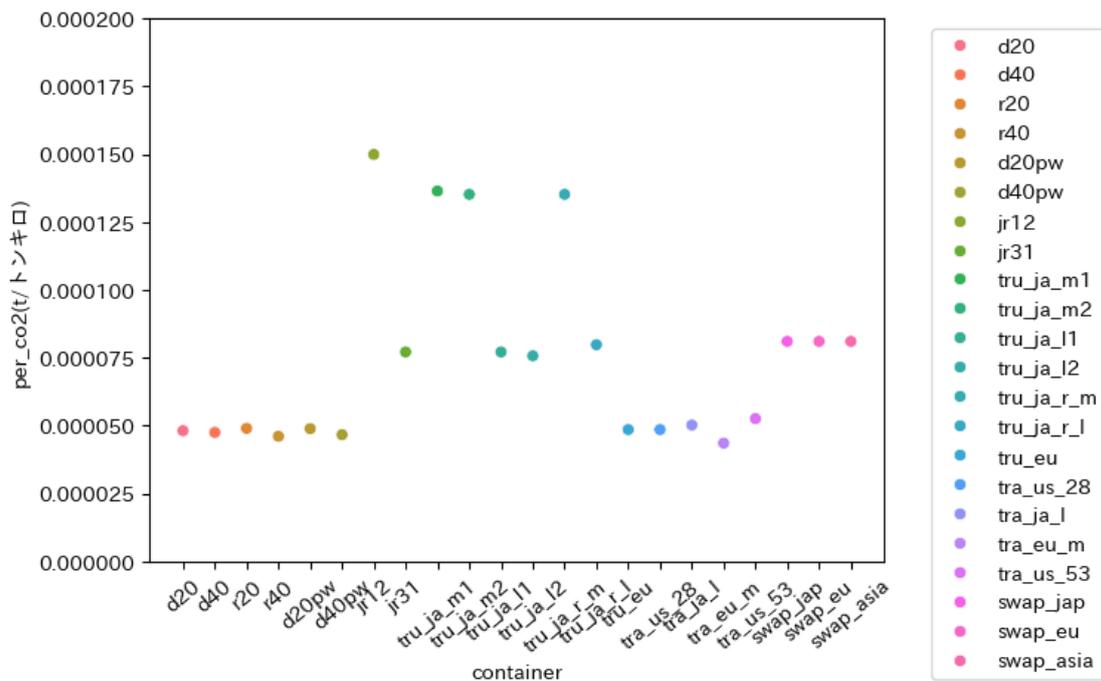


図 31 各コンテナの最大積載重量時の CO₂排出量

4. 貨物自動車への影響に関する分析結果

4.1. パレットごとの床面使用率の結果

各パレットの床面利用率と全容積割合の結果を図 32 に示す。X 軸に床面利用率と全容積割合、y 軸にその割合の値を取っている。全容積割合とは、荷台にパレット積みした際、容積率 100%の時の容積積載率のことを指す。結果より、床面利用率の幅は各コンテナでだいたい 20% ぐらいの幅があることがわかる。また、リーファーコンテナ、日本の一部コンテナは外れ値が多く見られる。これは、図 33 に見られるように 2 列分積み込めないような組が見られるためであり、多くは 2200mm では 2 列分積載できないオーストラリアのパレットが当てはまる。全容積割合は床面利用率と同じ傾向を示しており、パレットや元々の積載できない容積などの影響を受けたことで、どの荷台も 20% は荷台の空間を使用できていないことがわかる。

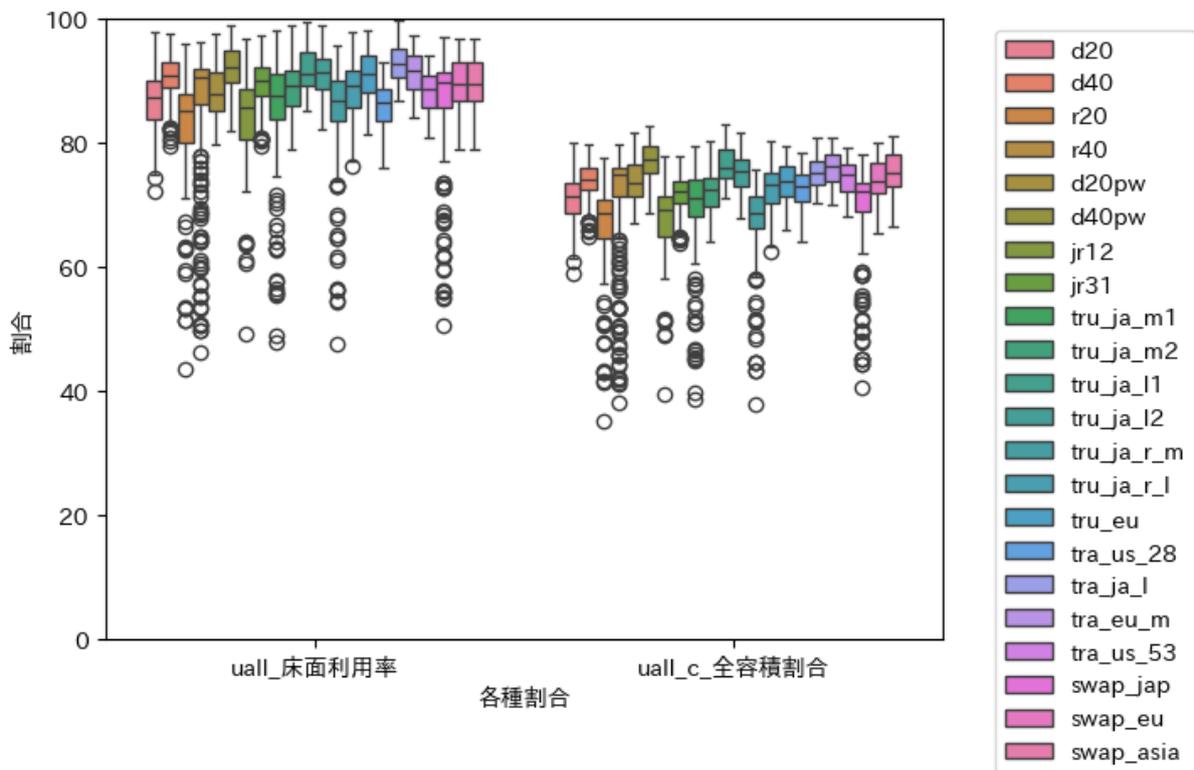


図 32 CO₂排出量の概要図

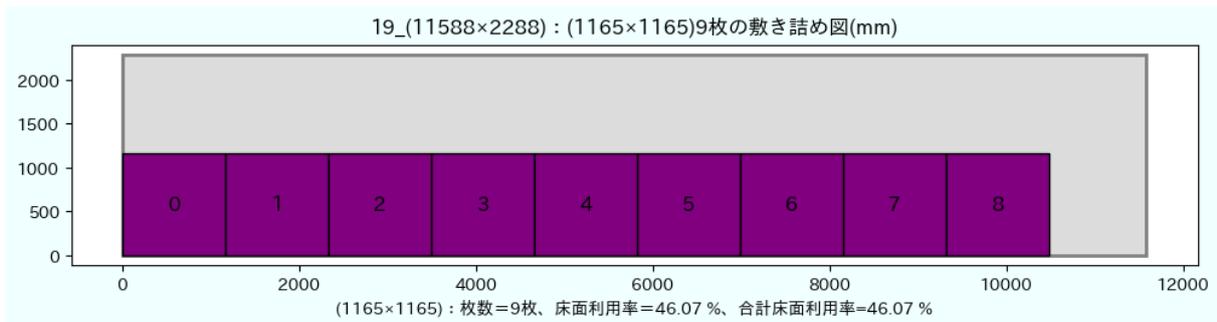


図 33 2 列分積載できない状態の組み合わせ

4.1.1. パレット積載時の床面利用率(単種類)

各コンテナに単種類のパレットを積載した時の床面利用率の結果を図 34、平均、標準偏差、四分位数の数値の表を表 2 に示す。床面利用率の平均値の大きさは、12→アメリカ→812→P→T11→オーストラリアの順になっている。T11 パレットの値が小さくなったのは、2300mm 程の幅の荷台が多かったためであるといえる。標準偏差は、アメリカパレットが 1012 よりも小さいが大きな差にはなっておらず、812、オーストラリアの値が大きい傾向である。標準偏差について 812 パレット、オーストラリアパレットの値が大きくなった理由であるが、812 パレットは 2 列並べた時の値が[1600mm, 2000mm, 2400mm]であり、その幅が大きいためであると考えられる。また、オーストラリアパレットは、4.1.でも説明したようにそもそも 2 列分積載できないため、四分位数の中央値と第 1,第 2 四分位数の値が離れているように、特定の幅の荷台には対応できず床面利用率の値の幅が大きくなったことが考えられる。

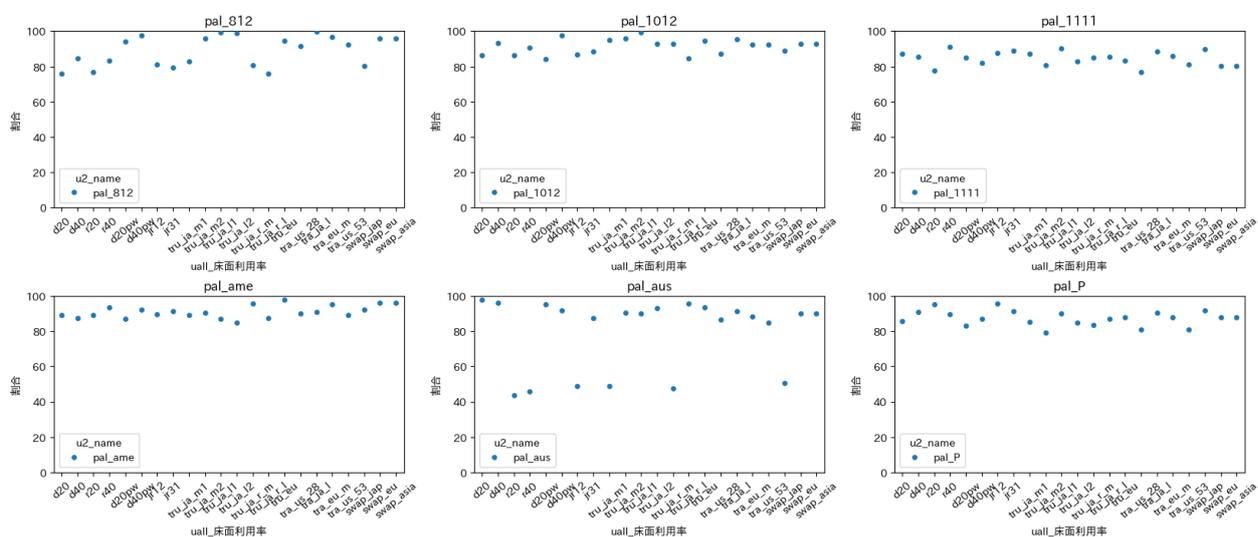


図 34 パレット単種類積載時の床面利用率

表 2 パレット単種類積載時の床面利用率の各種値

kind	AVE	STD	各四分位数
812	88.80	8.51	[76.11, 80.89, 92.21, 95.83, 99.65]
1012	91.39	4.21	[84.13, 87.27, 92.64, 94.61, 99.39]
1111	84.69	4.06	[77.00, 81.35, 85.27, 87.50, 91.28]
Ame	90.97	3.47	[84.99, 89.08, 90.66, 93.43, 97.64]
Aus	79.43	20.23	[43.51, 50.42, 90.20, 93.13, 97.84]
P	87.47	4.35	[79.06, 84.92, 87.73, 90.67, 95.46]

4.1.2. パレット積載時の床面利用率(複数種類)

各コンテナに複数種類のパレットを積載した時の床面利用率の結果を図 35、各パレットで荷台全体の床面利用率をヒストグラムにした結果を図 36、平均、標準偏差、四分位数の数値の表を表 3 に示す。平均はどのパレットも 87-90%ほどの値に集まっており、標準偏差は単種類パレット積載時の傾向とほぼ同じである。図のヒストグラムの階級幅は 4 であり、全体的に 84-96%の床面利用率であることがわかる。この結果から、複数種類のパレットを利用した際、組み合わせによって単種類で積載する場合より安定的な床面利用率に落ち着くことが多くなると考えられる。

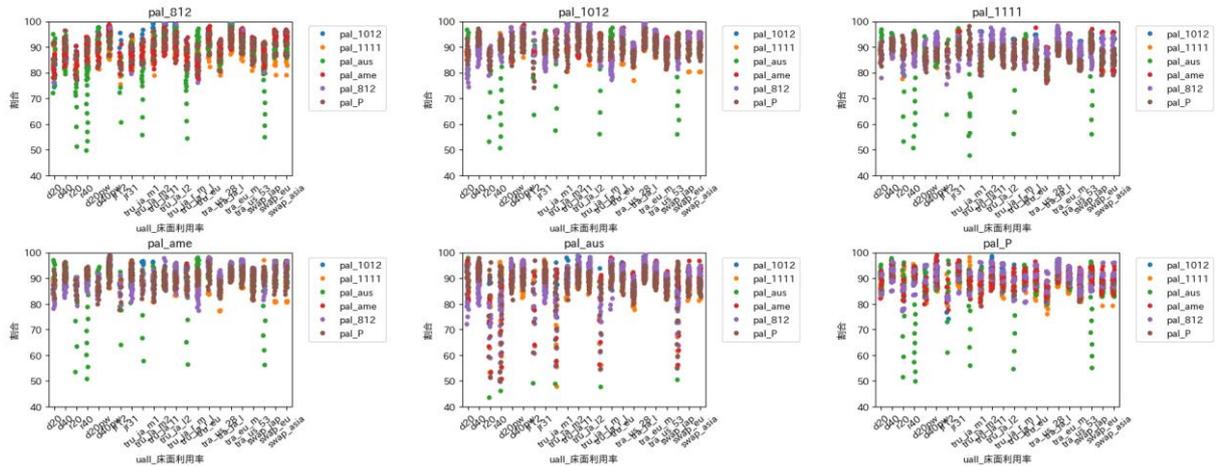


図 35 パレット 2 種類積載時の床面利用率

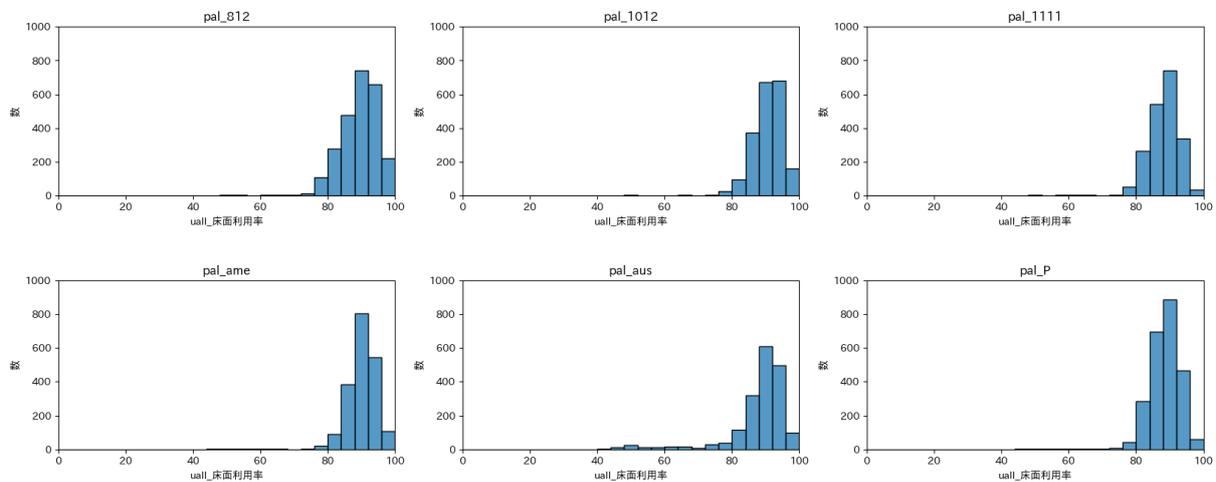


図 36 パレット 2 種類積載時の床面利用率のヒストグラム

表 3 パレット 2 種類積載時の床面利用率の各種値

kind	AVE	STD	各四分位数
812	89.60	5.65	[49.69,86.57,90.47,93.32, 99.65]
1012	90.44	4.98	[50.60,88.13,90.77,93.63, 99.65]
1111	88.22	4.95	[47.75,85.97,88.83,91.16, 98.24]
Ame	89.96	4.67	[50.74,87.91,90.45,92.87, 98.87]
Aus	87.92	8.24	[43.51,86.35,89.79,92.67, 99.14]
P	88.83	4.81	[49.81,86.55,89.34,91.88, 98.87]

以上のパレット単種類、複数種類の床面利用率について、各荷台の平均値、標準偏差、各四分位数を変数に python の scipy ライブラリを利用したクラスタリングの結果を図 37 に示す。図より、12パレットとアメリカパレット、T11パレットとPパレット、オーストラリアパレットという大きく3つに分類していることがわかる。そして、各パレットの間を埋めるような形でEUROパレットがある。オーストラリアパレットは荷台の幅の関係で2列積載できなかったため、各パレットと異なる分類になり、12パレットとアメリカパレットはそもそもサイズがほぼ同じであるためこのような結果になったことが予測される。しかしながら、本結果はオーストラリアパレットの組み合わせによる外れ値とも取れる最小値が複数見られたものを交えた結果である。そこで、各荷台の中央値から最大値の値を変数としてクラスタリングした結果を図 38 に示す。すべての変数を対象にした図 37 と異なり、特に目立った分類がないことがわかる。ただ大きな分類としては図 37 と同じような傾向を示していることがわかり、特にオーストラリアパレットは一つ外れた分類であることがわかる。

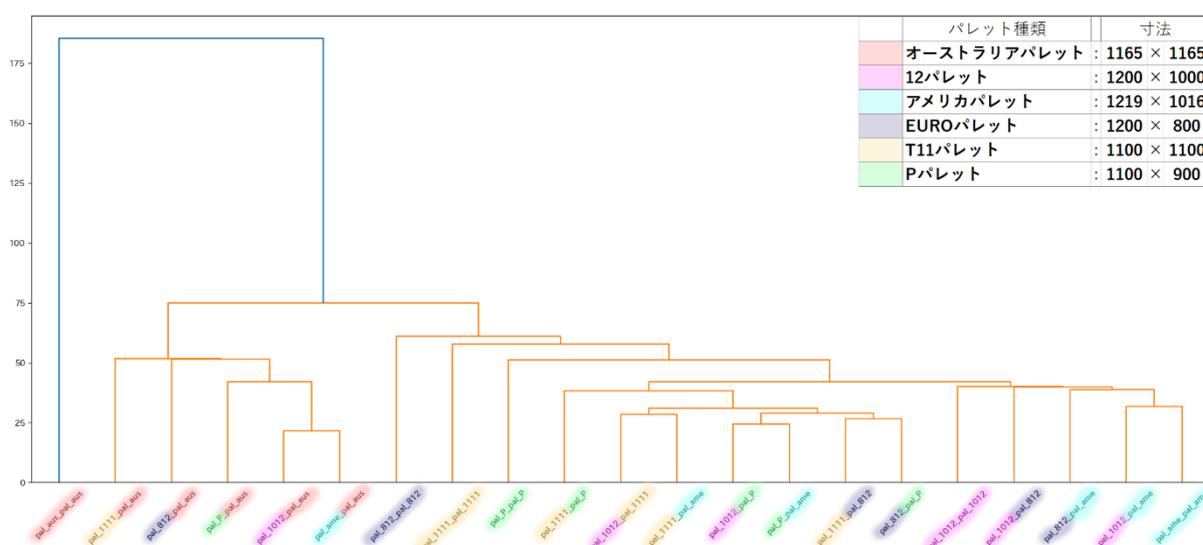


図 37 各パレットのクラスタリング結果(すべての変数)

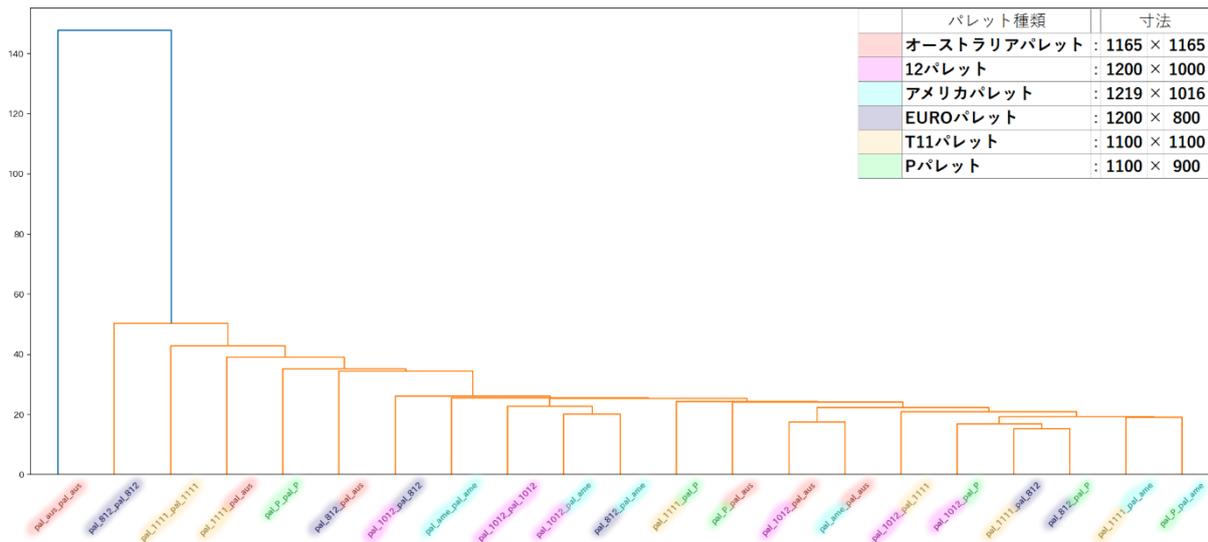


図 38 各パレットのクラスタリング結果(中央値以上の変数)

4.2. ケース積載時の容積、重量積載率、CO₂排出量の結果

4.2.1. ケース積載時の容積積載率の結果

ワンウェイを想定した段ボール積載時の内寸の容積積載率、すなわち実際に貨物を積載できる割合を図 39(単種類)、図 40(複数種類)リバースフローを想定した RTI のプラスチックケース、クレート積載時の容積積載率の割合を図 41(単種類)、図 42(複数種類)、図 43(単種類)、図 44(複数種類)に示す。図は、3 章で説明したケースをパレットに全ての組み合わせで積載したときの状態を表している。また、パレット複数種類でのケースの積載の結果は、4.1.2 で 2 種類のパレットを積載したときに 3 章で説明した 4 種類のケース、それぞれを積載した状況を示している。例えば、812 パレットと 12 パレットの 2 種類であれば、812 パレットに 4 種類のケース、12 パレットに 4 種類のケースを積んだ、合計 16 パターンの状況をパレットの組み合わせ分わけあわせた結果を示している。

内寸容積を段ボールとプラスチックケースで比較すると、(段ボールの内寸容積/RTI の内寸容積)だけ段ボールは優位となる。また、単種類、複数種類でどのパレットであってもケースの積み合わせ方によって内面利用率の使い方とほぼ同じ傾向を示していることがわかる。そのため、今回研究で採用したケースの外寸サイズであれば、複数のパレットでも無駄が大きくなりすぎることはある程度回避することができるといえる。ただし、クレートのみ表 1 からわかるように T11 パレットとの大きさが微妙に合わないことで、元の内面利用率から考慮した内寸容積割合の値が 30% 近くに留まっていることがわかる。これは、以前からも議論されており、JIS Z0105 のモジュール寸法と合っていないという文献が見られる⁵⁸。P パレ、812 パレットも同じ傾向を示しており、今後クレートをパレット積みすることがあればパレットの規格の見直し、クレートの規格の見直しが必要になってくるといえる。

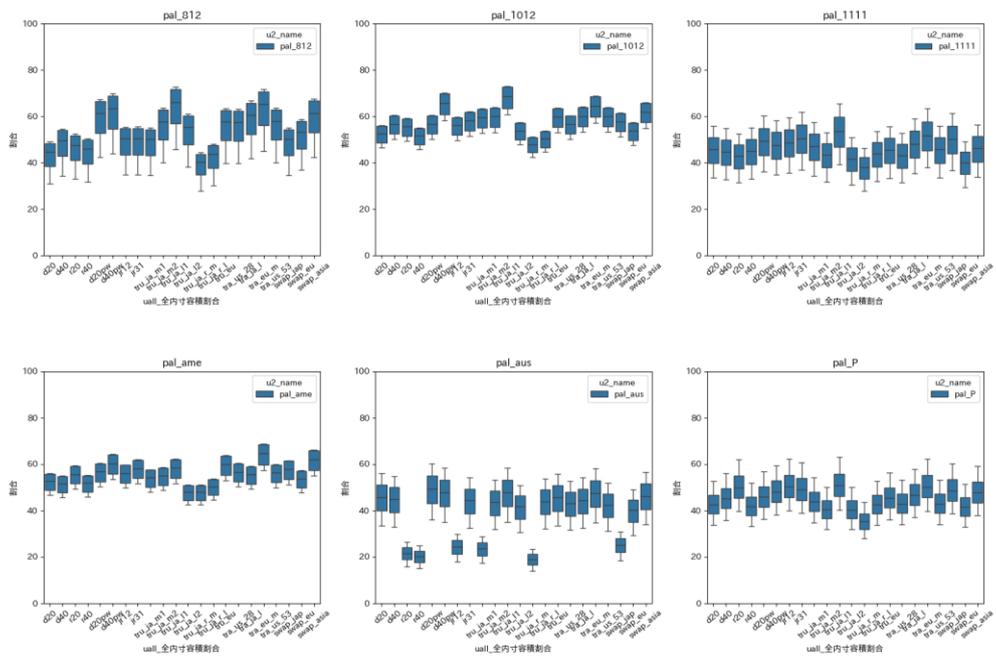


図 39 段ボール積載時の内寸容積割合_単種類

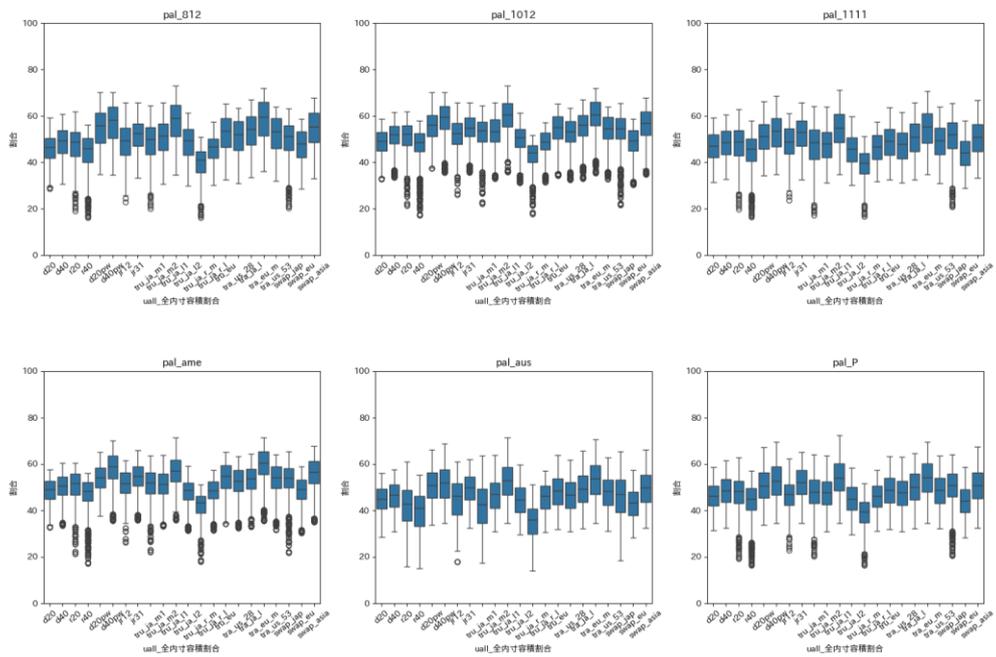


図 40 段ボール積載時の内寸容積割合_2種類

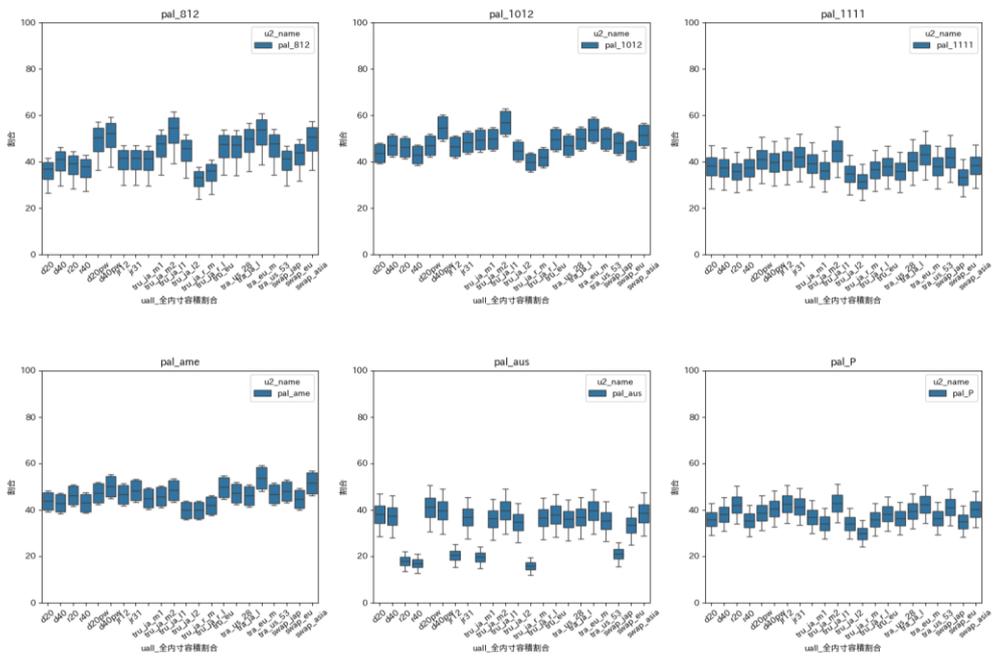


図 41 プラスチックケース積載時の内寸容積割合_単種類

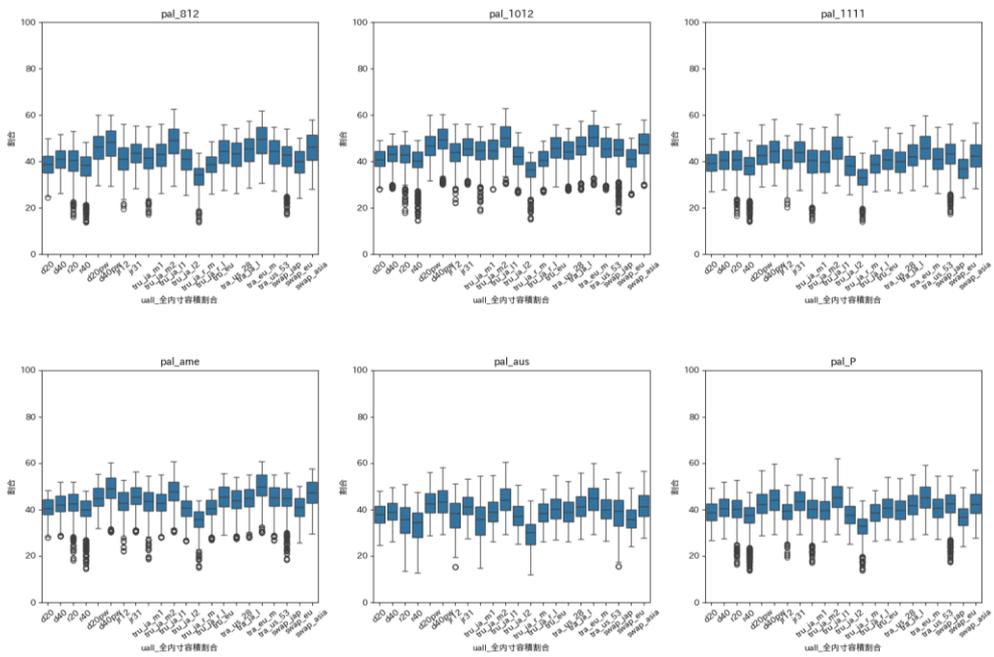


図 42 プラスチックケース積載時の内寸容積割合_2種類

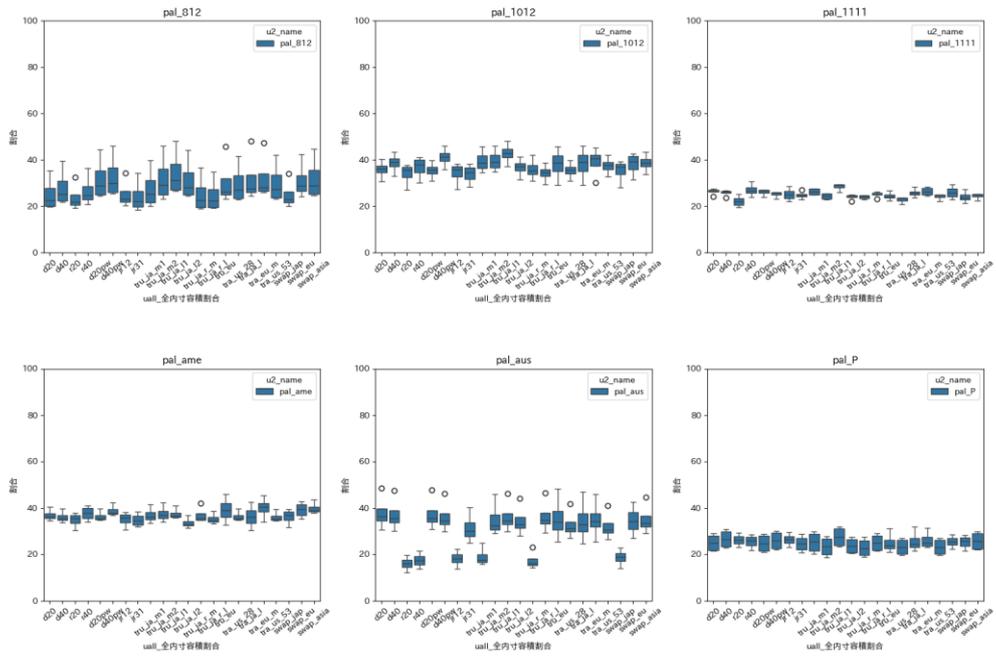


図 43 クレート積載時の内寸容積割合_単種類

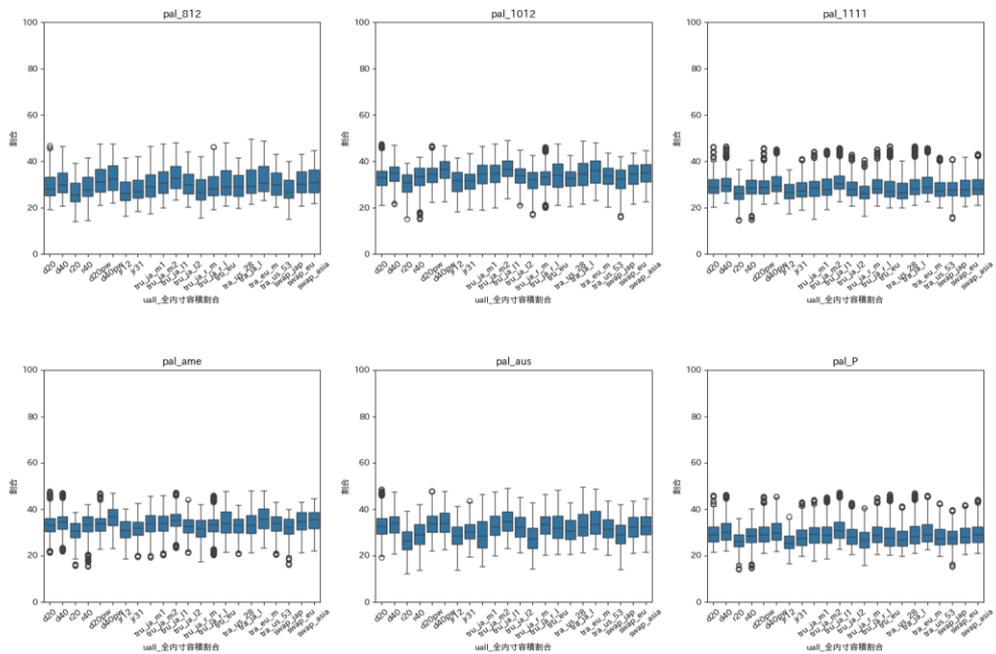


図 44 クレート積載時の内寸容積割合_2種類

4.2.2. ケース積載時の重量積載率の結果

ワンウェイを想定した段ボール積載時のケースの自重の重量積載率を図 45(単種類)、図 46(複数種類)リバースフローを想定した RTI のプラスチックケース、クレート積載時のケースの自重の重量積載率の割合を図 47(単種類)、図 48(複数種類)、図 49(単種類)、図 50(複数種類)に示す。

どのパレットにも言えることではあるが、パレットの内寸容積が高い時、すなわちより多くのケースを積載できる場合はケースの重量もより大きな値になる。各パレットで大きな差は見られないが、どのパレットも日本のトラックのみケースの重量が最大積載率の 20%を占めていることがわかる。これは、仮定した中型トラックの最大積載重量が低いためであるが、現実の世界として考えると元の最大積載重量の 80%しか商品を積載できないため、容積勝ちの貨物を積むことが優先されると考えられる。しかしながら、容積積載率の最大値がどのパレットでもおよそ 60%ほどであったため、どのような商品であってもパレット荷役に適しているとも考えられる。輸送する商品は重いものほど、フォークリフト荷役を行ったほうが作業者にとっては良いはずなので RTI での輸送をするのであれば、輸送効率など全てを考慮してパレット積みは今後も推奨すべきであると言える。

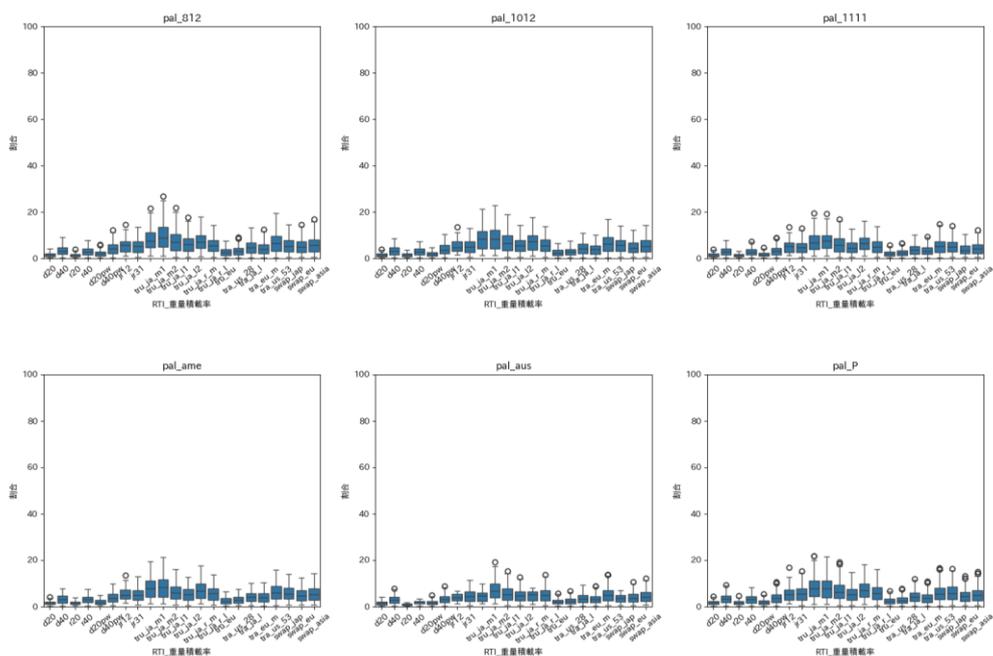


図 45 段ボール積載時の RTI 重量積載率_単種類

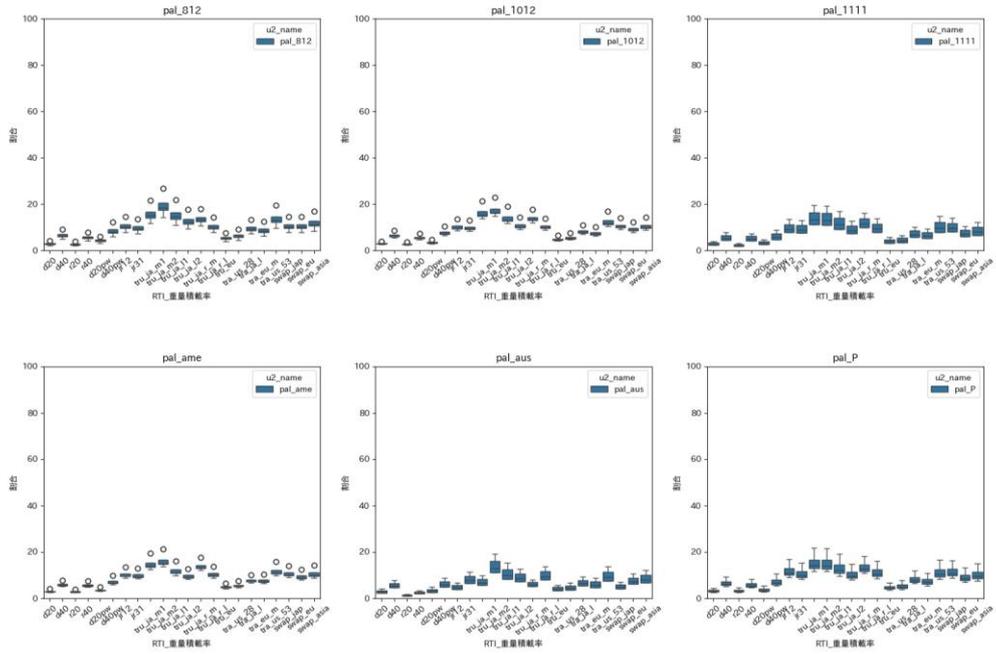


図 46 段ボール積載時の RTI 重量積載率_2 種類

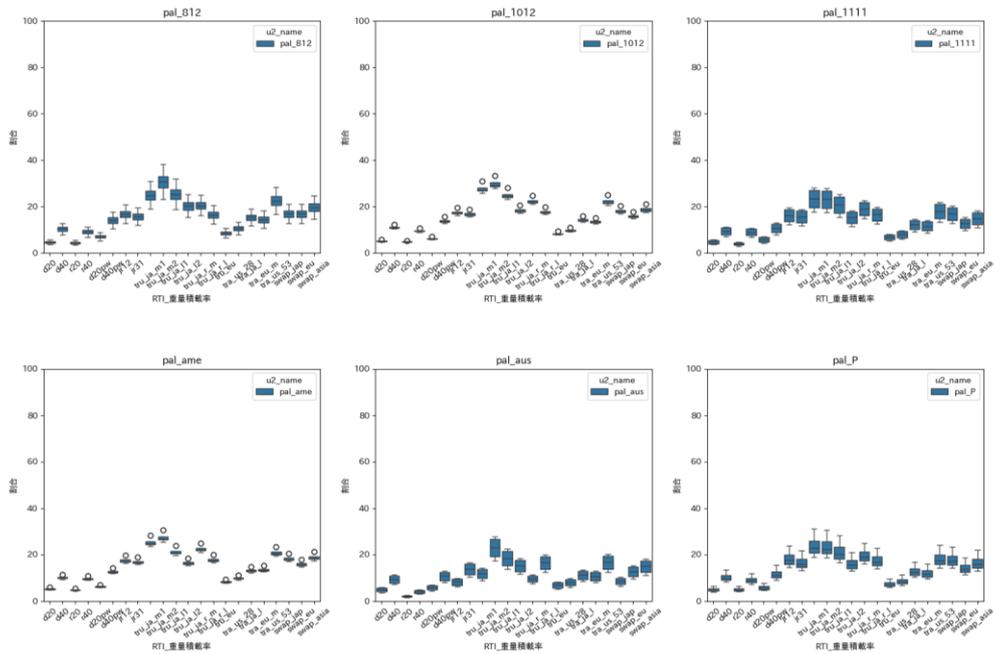


図 47 プラスチックケース積載時の RTI 重量積載率_単種類

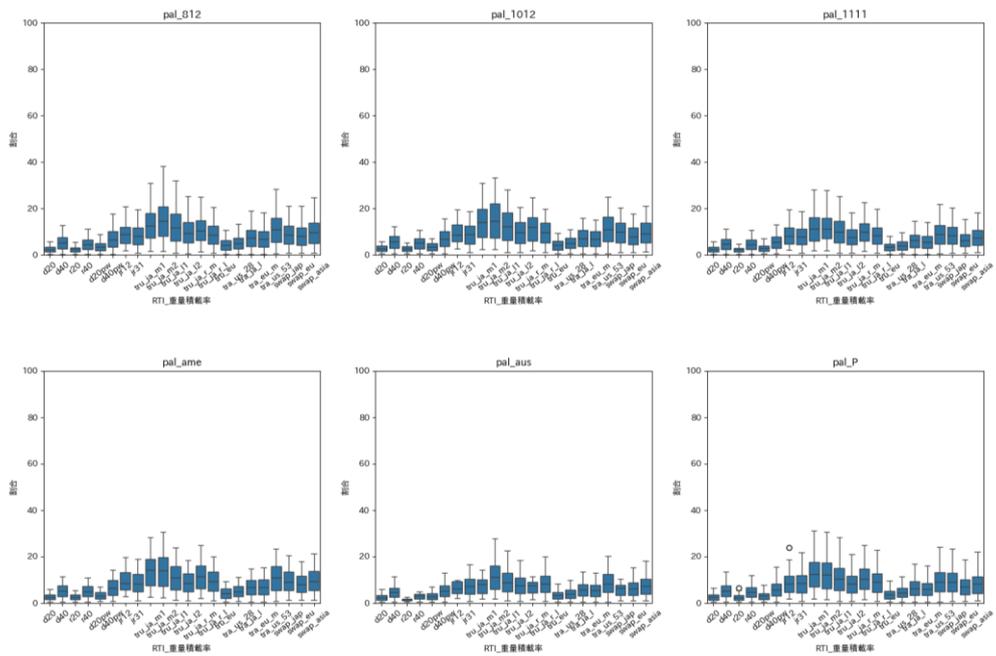


図 48 プラスチックケース積載時の RTI 重量積載率_2 種類

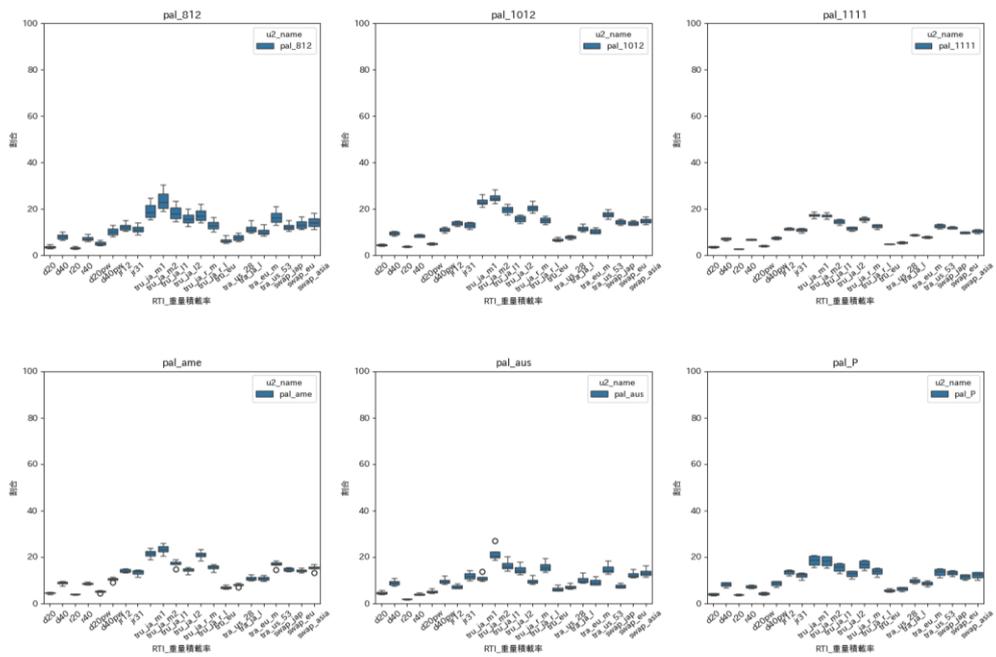


図 49 クレート積載時の RTI 重量積載率_2 種類

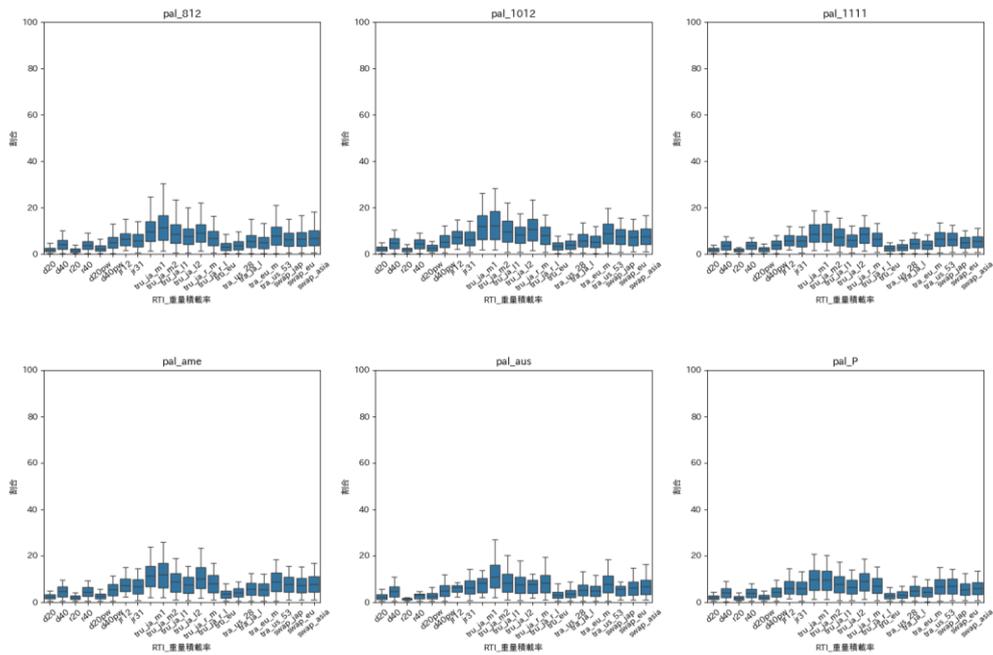


図 50 クレート積載時の RTI 重量積載率_2 種類

4.2.3. ケース積載時の CO₂排出量の結果

まずは、パレットの組み合わせごとの CO₂排出量を見る。ワンウェイを想定した段ボール積載時の CO₂排出量、リバーフローを想定した RTI のプラスチックケースの CO₂排出量のヒートマップを図 51, 52, 53 に示す。それぞれのコンテナごとの CO₂ 排出量は Appendix.B に示す。また、各コンテナの最大値のクレートに関しても、Appendix.C にその傾向の図のみを示すが、これはあくまでも本稿が段ボールと RTI の比較を行うためである。図は比重を 0.6(t/m³)としたときの結果であり、図 51, 52, 53 はそれぞれ各パレットで荷台ごとの CO₂排出量の最大値、最小値、平均値の平均をとった値となる。各図の case_kind0 は段ボール箱を表し、case_kind1 はプラスチックケースを指す。CO₂排出量は、黄色に近いほど大きく、紫色に近いほど小さいことを示している。最小値の図に着目すると、比重が 0.6(t/m³)のときは、両ケース共にオーストラリアパレットを除き各パレットで CO₂排出量の大きさに大きな偏りが無いことがわかる。内寸の容積割合ではパレット間で差が見られたものもあったが、積み合わせが良い状態であれば CO₂排出量への影響はどれも小さいものと言える。左上から右下へ向かう対角線は 1 種類のパレットでの積付け状態であるが、12 パレット、アメリカパレット以外は他のパレットと積載したほうが CO₂排出量は小さくできることがわかる。その傾向はケース重量が重いほうがその傾向がよりはっきりと現れていることがわかる。この傾向は最大値の平均の図では 812 パレット以外の組み合わせでより顕著に現れていると言える。最大値でも 12 パレット、アメリカパレット使用時の値は、他の組み合わせよりも遥かに CO₂排出量を小さくできていることがわかり、平均値でも同様であると言える。

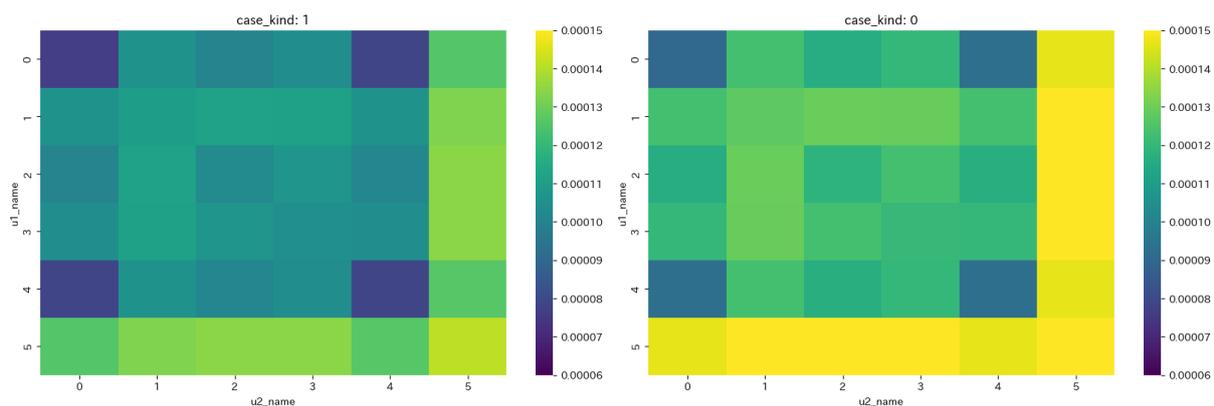


図 51 各パレットの CO₂排出量の全荷台の平均の最大値

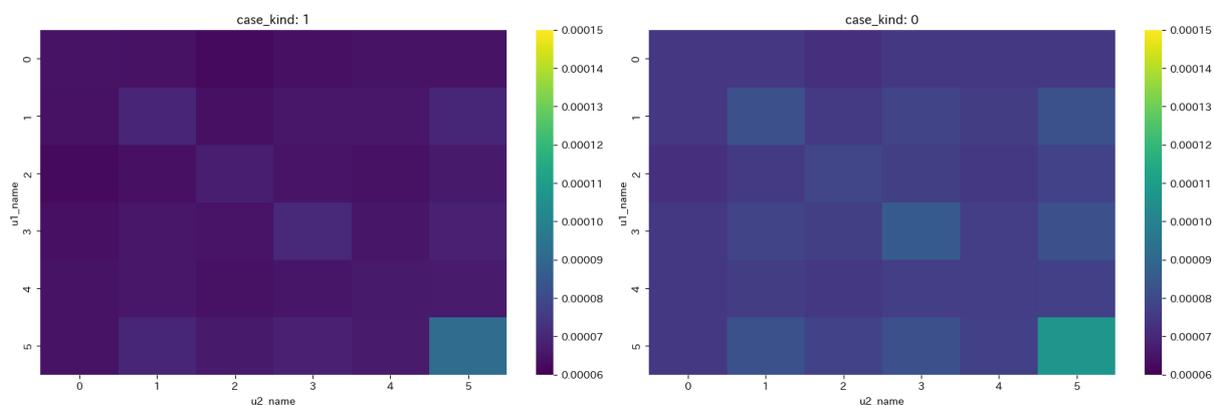


図 52 各パレットの CO₂排出量の全荷台の平均の最小値

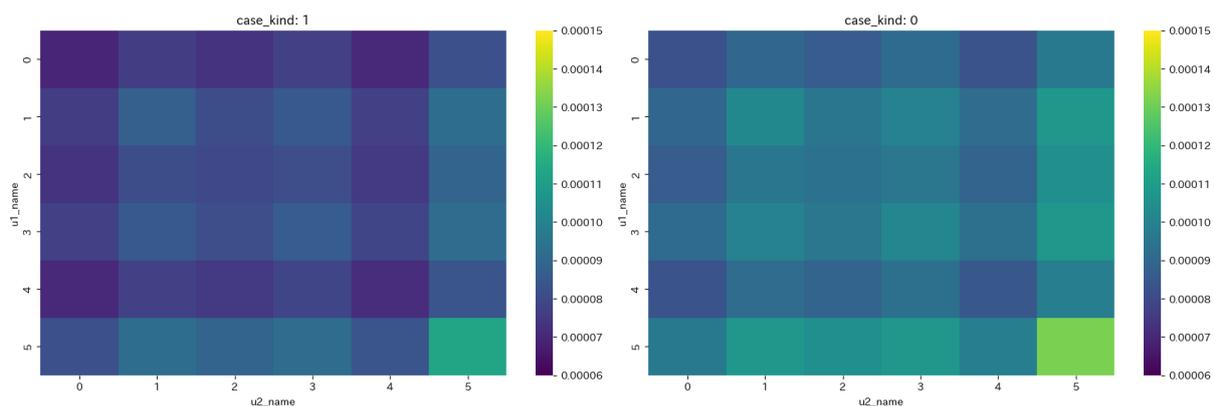


図 53 各パレットの CO₂排出量の全荷台の平均の平均値

0 : pal_1012、1 : pal_1111、2 : pal_812、3 : pal_P、4 : pal_ame、5 : pal_aus

研究目的である RTI 積載時の CO₂排出量の振れ幅について、分析した図を図 54, 55, 56 に示す。表 4 は品物ごとの比重の例である。図 54, 55 のパラメータについて_max は先程の各図の中

の最大値、_min は最小値、_width は_max から_min の値を引いた値、d, p は段ボールとプラスチックケースを表す。図 56 のパラメータは_max が最大値の平均の中の最大値、_min が最小値の平均の中の最小値、_width と p、d は同じ事を表す。

最大値、最小値の図は共に、p_width と d_width は共に比重が、およそ $0.4(t/m^3)$ より重い貨物になると CO_2 排出量の値が近くなっていることがわかる。このことから、比重が大きくなることで貨物トンキロあたりの CO_2 排出量はケースの重量に大きく依存しなくなることが言える。しかしながら、図 56 に着目すると、_max と_min 間の分布は不明であるが、パレットの組み合わせ次第で CO_2 排出量の幅に大きな影響が出ていることがわかる。以上より、RTI の重量は確かに CO_2 排出量へ大きな影響を与えることは確かであるが、それ以上にパレットの組み合わせの条件が良くなければ環境への影響も大きくなると言えるのではないかと考えられる。

表 4 貨物の比重の目安

品物	比重 (t/m^3)
ミネラルウォーター	0.61
ばれいしょ	0.46
菓子(ビスケット)	0.21

(出典

Amazon HP [Amazon 限定ブランド] Restock サントリー 天然水 ミネラルウォーター 2L ×9 本(参照 2022 年 10 月 15 日)

農林水産省:外装サイズ・外装表示の標準化に関する現状と取組について、令和 4 年 2 月 8 日

Amazon HP 明治 きのこの山 74g×10 個(参照 2022 年 10 月 15 日))

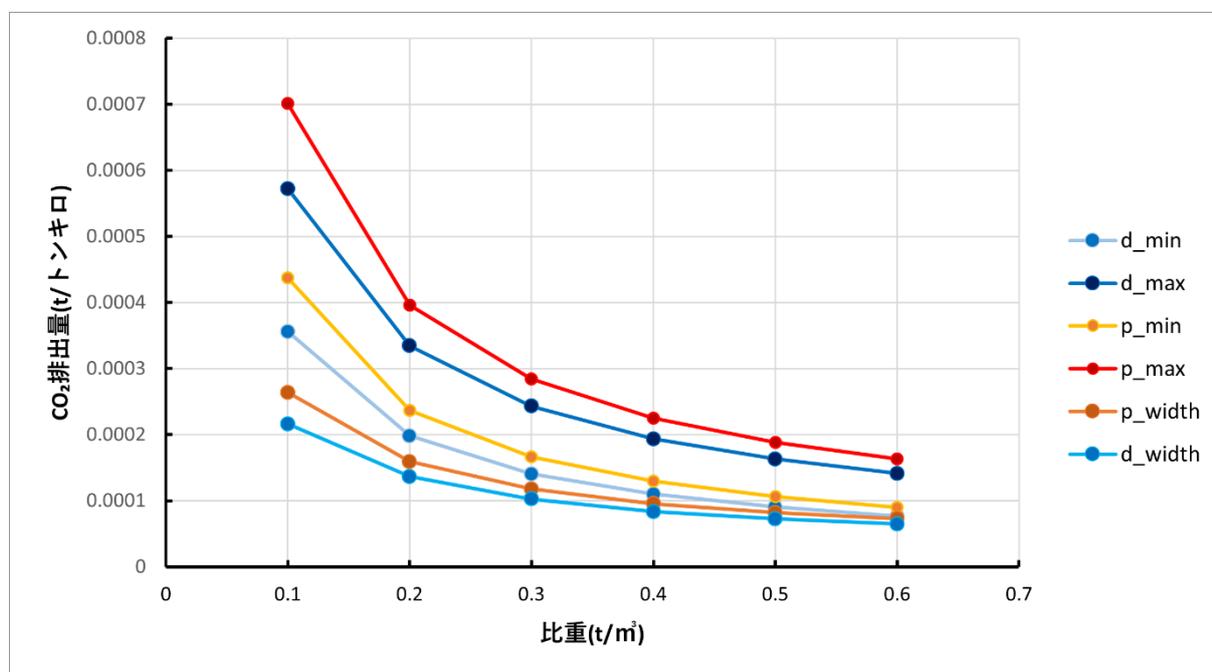


図 54 各パレットの CO_2 排出量の全荷台の平均の最大値の振れ幅

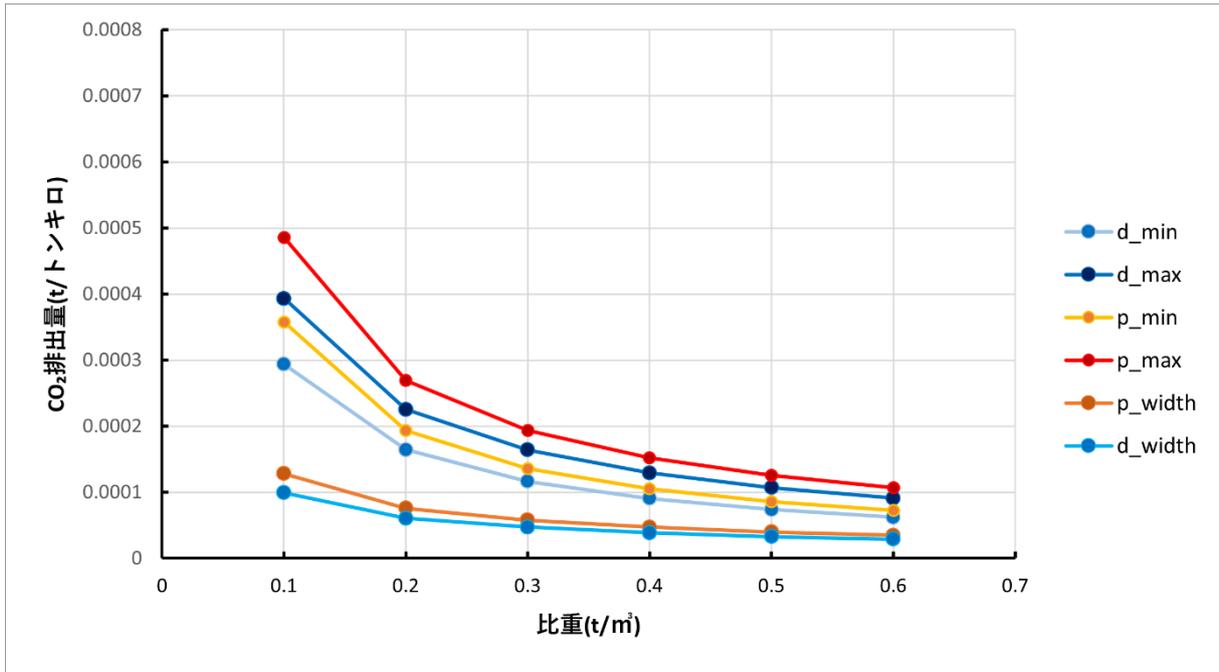


図 55 各パレットの CO₂排出量の全荷台の平均の最小値の振れ幅

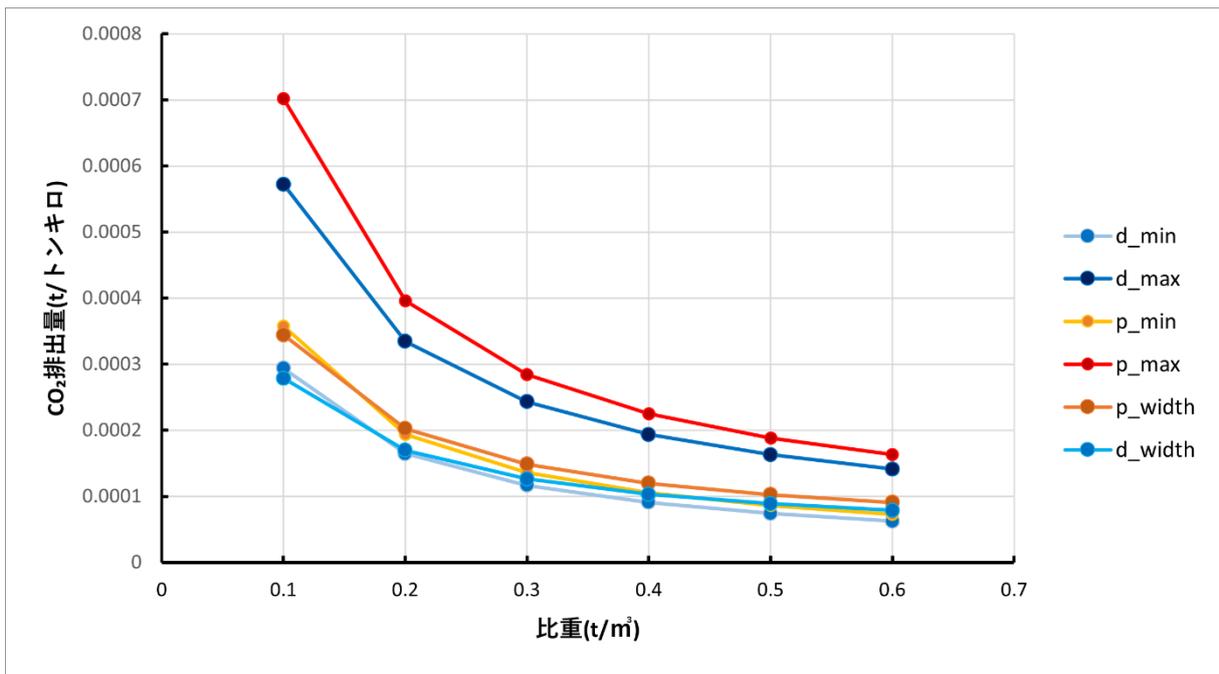


図 56 各パレットの CO₂排出量の全荷台の平均の最大値—最小値の振れ幅

4.3. 結果のまとめ及び標準化の考察

本研究は、RTI が輸送中の貨物自動車の積載率にどの程度の影響を与え、CO₂排出量にどの程度の影響を与えるのかを分析することを目的とした。結果より、まずは12パレットを使用した場合が容積積載率を一番良く利用できることがわかった。容積積載率の面では段ボール、プラスチックパレットは共に荷台の使用できる空間が70%以下になることがわかり、クレートも同様の傾向を示すがT11のみ積載率がより低くなることがわかった。重量積載率の面ではどの荷台、パレットの組み合わせであってもRTIの占める割合が低かったが、日本のトラック荷台のみ最大積載重量が低いいため、20%ほど重量をしめる。CO₂排出量の結果については、谷田（の振れ幅を元に、ケースの重量ごとにCO₂排出量の振れ幅へ影響を与えるが、最大積載重量に近い値で満たせば、トンキロあたりのCO₂排出量は大きな違いを及ぼさないことがわかった。そして、重量を考えると同時に、パレットの組み合わせを考慮すべきであり12パレット、アメリカパレットを利用した場合はCO₂排出量の値を抑える効果が高い。

以上が本研究の結果になり、以降は積載率の面での標準化に関する考察になる。本研究では、12パレットの良さについて述べた。事実 sardo pallet lab⁵⁹の調査においても、12パレットの適合性の高さが証明されている。ただし、パレットの標準化に関する議論をする上では、「今回の結果で12パレットが良かったから12パレットだけに注目して今後はこのサイズ一つに統一して良いのだ」という話にはならない。なぜなら、今回の結果でさえも本当に正しいものとは言えないからである。例えばトラックサイズで違うものを対象とすれば、T11が有利になる場合は十分有り得て、出した結果の平均や標準偏差は異なった結果になる。現実での荷台サイズがどのくらいのものでどれくらい多いのかの分布を取ること難しいことを踏まえると、結果は恣意的に仕組むことができってしまうため、本研究の分析結果が母集団の性質を示すとは一概に言えないのである。しかしながら、唯一言えることは、正方形のパレットでは確実に対応できる面積に限りがあることだ。CO₂排出量的には、どのパレットであっても比重さえ考慮すれば良いため、大事なことは容積的にどれだけ貨物を積み込めるかが最後は大事となる。床面利用率のことを考えるのであれば、サイズの万能性に着目し、標準化という面からは長方形の4方差しパレットが良いと考える。これは単純に2つのパレットを並べた際に、[縦—縦、縦—横、横—横](図57)の3通りの組み合わせが作れるからである。言ってしまうと、T11パレットの寸法に適するトラック荷台を作ればそれは確かに床面利用率を100%に満たせるが、それを行ってしまうと国際規格とは違うため、新しいサイズのトラック荷台サイズを作り続けることになり、時間が経てば経つほど標準化がより複雑な結果になりかねないのだ。そして、現在は多くの荷台サイズがありふれているためこれ以上の荷台サイズを生み出さずに、現在の荷台に対応するためには長方形のパレットで様々な荷台サイズに対応させることが望ましいのではないだろうか。特に労働力を充填するためには準中型トラックを利用する必要がありパレチゼーションを行うのであれば、2200mm未満のトラックではT11は利用できないが2000mm以上であれば12パレットは利用できる。

ただし、現実世界では、レンタルパレットもT11パレットが多かったりすること、パレット変更時の倉庫内の機器や行政がT11パレットを推進するため、長方形に対応することは難しいであろう。2001年の段階で、オーストラリアが12パレットに変更した時の経済的効果を試算した時、確かな効果はあるもののそれまでに至る予算もかなりの額になるとして未だに1165×1165

のパレットを利用している。以上のように、積載率のことだけを考えても、それ以外の物流システムの見直しが必要になるため、標準化を1つに決めることは難しい。なぜ標準化をする必要があるかの基本に立ち返る必要がある。そもそも、国際的な一貫パレチゼーションを行うのであれば、日本はその他の国に合わせ12パレットを推進したほうが良い。ここでT11パレットを日本国内で標準化するという事は矛盾が生じる結果になる。つまり、世界的には12パレットの使用率が大きい中で日本が自国の損失のためにT11パレットを推進するという構造は、国内でのT11パレットの普及が進む中である企業が自社に適したパレットサイズを利用するという構造に似ているということだ。仮に日本国内でのT11パレットの利用を推進しこれが成功したならば、独立した環境の中での標準化は成り立つという事になるため、自社に適したパレットサイズを利用することもマネジメント方法を確立すれば成り立つということが言えるのではないだろうか。実際に冷凍業界では12パレットが主流となり、一部の業界⁶⁰では、独自のパレットサイズを規格し循環させているように、業界単位でパレットを循環させているような事例はある。

上記のような混乱が起こる理由は、規格の分類の考えがうまく分けられないことが問題にある。現状では、地方標準、国家標準、地域標準、国際標準⁶¹の括りがよくわからない状態になっており、国際間輸送であれば12パレットを利用するべきだと言うのは国際標準の話であるが、国内だけで行えるのであればT11という国家標準の枠になる。地理上での標準の分類が上手に機能せず、する必要も無いのかもしれない。

標準化を行う上で、積載率を考えることは当然であるが、一番は結論や目的をどこに持っていきたいのが大事だと考える。Egyedi(2000)⁶²は、当初コンテナはパレット積みすることを想定しておらず、時間の経過とともに貨物の積載率よりも作業効率を選ぶようになったことを述べている。目的が変わっているのだ。今後のマネジメントのあり方、労働環境などを統合して考慮すると、標準化に向けた第一の優先指標が作業効率になってくることは十分にありえる。そうなると長方形と正方形のパレットの作業効率を比べることも1つの標準になるだろう。発展途上国は先進国のパレットサイズに従う可能性があるため、なるべく早期の改革が必要となる。その他考慮すべき点としては、RTIの名前の統一をして、規格でしっかりと決めることである。

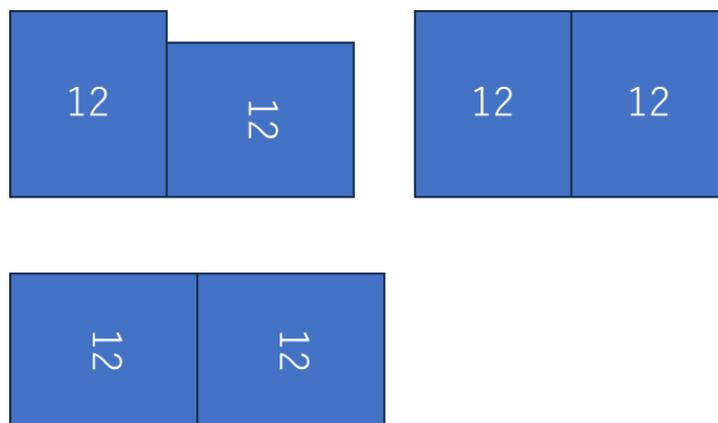


図 57 長方形パレットの長さの組み合わせ

5. 結論

5.1. 本研究の結論

本研究は昨今のパレット化に関する行政の取り組み、環境問題、RTI の物理的性質と標準化に着目し、既存研究では詳細には分析されてこなかった荷台とパレット、ケースの組み合わせによる積載率の変化、これに伴う輸送中における貨物自動車の CO₂ 排出量の変化に目を向けた。結果として、内寸容積では 12 パレット、アメリカパレットが良く、CO₂ 排出量の結果にも同じ傾向が見られた。また、容器を考えた時プラスチックと段ボールでは排出される CO₂ の量に明確な差があることがわかった。標準化の考察として、積載率の面から見れば荷台を恣意的に作れば高い値を示せることを踏まえ、現在の多様な荷台サイズが既にありふれた状況であれば長方形のパレットが柔軟性を表すことを示した。そして、荷役作業の効率性に注目が移り変わったことに着目し、積載率だけでなく作業効率性を第一に焦点を当てることもありではないかということを示唆した。

5.2. 今後の展望

今後の展望として、3つのことが考えられる。1つ目は、ハーフパレットを用いた積載率の分析とマネジメント方法の考察である。Jung and Yoon(2013)⁶³は、12 パレットと T11 パレットの間を埋める方法として 500mm, 600mm のハーフパレットを利用することを考慮していた。ヨーロッパでもハーフパレットは利用され、スマートボックスのサイズがピッタリになるように設定されている。日本国内でトラックの荷台の容積の積載率を満たしたい、またラストマイル輸送におけるユニットロードシステム化を進める際、ハーフパレットを用いたパレチゼーション化を進められれば、一定の効率化が図れることが予測される。2つ目は、ゲーム理論を用いたネットワークモデルの開発である。1章でも述べた通り、ある閉じた環境上でのパレット運用をしている例が見られる。現状、パレットのフローデータは一部の企業でしか入手できず研究には限界がある。Raballand はパレット標準化の困難要因としては囚人のジレンマを挙げていた。マッチングという面において、今回の研究で得られる容積的な積載率のロスや CO₂ 排出量の差分をゲーム理論に当てはめ、仮定した数社間での輸送を想定し、標準サイズを利用した場合と数社間でのより良いパレットサイズを使用した場合でのシミュレーションモデルなどを組むことができれば、標準化の考えも考察がより行いやすくなる可能性がある。3つ目は、パッキングアルゴリズムの正確性である。本研究では、rectpack ライブラリを使用し、可能な限り最大値になるような積付けを行ったが、確認できた範囲では 12 パレットのみ一部図 58 のような本来であれば 10 ケース積めるところを 9 ケース積んでしまっているようなものが見られた。パッキングアルゴリズムの改善でより正確な数値がわかることが期待できる。

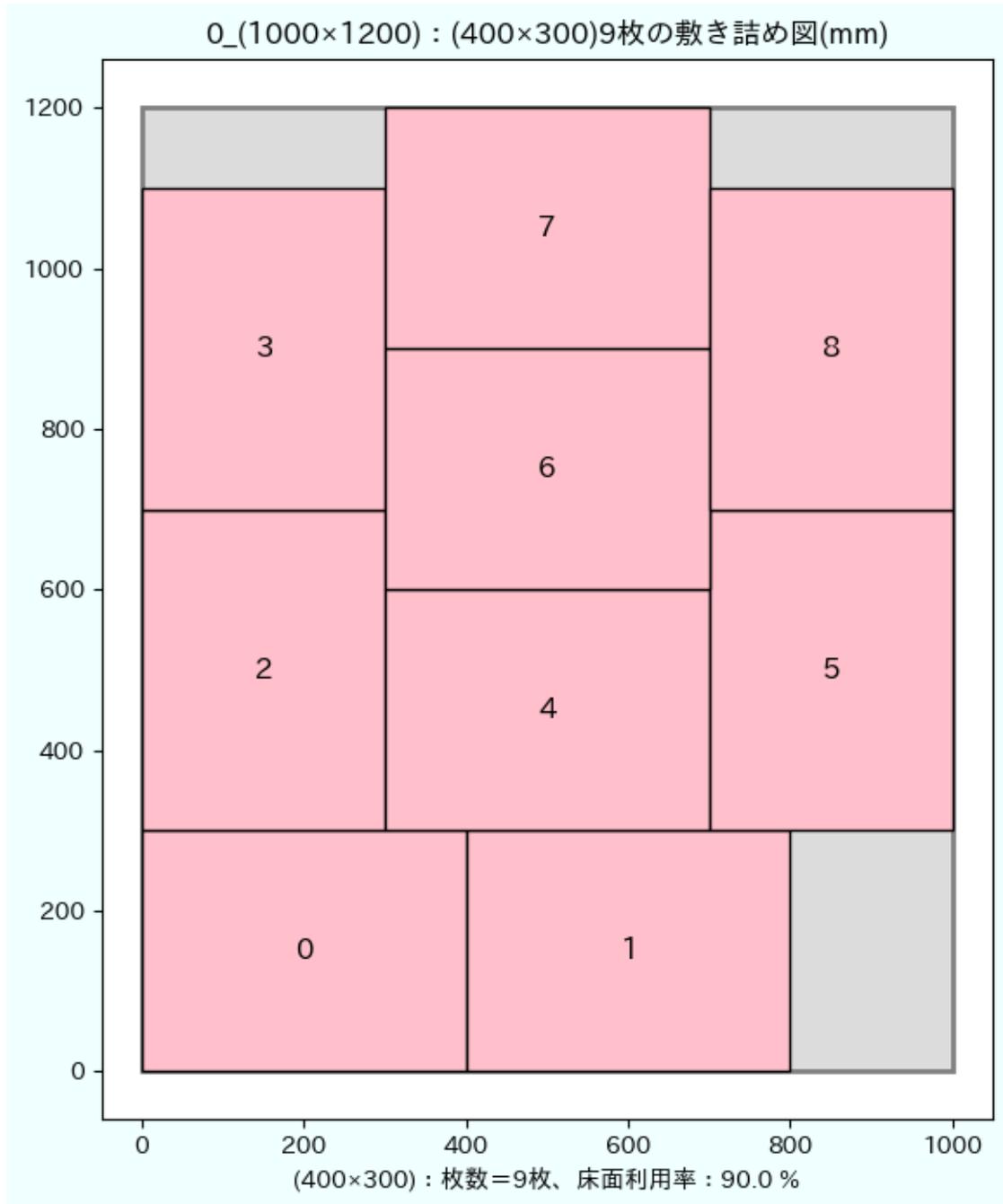
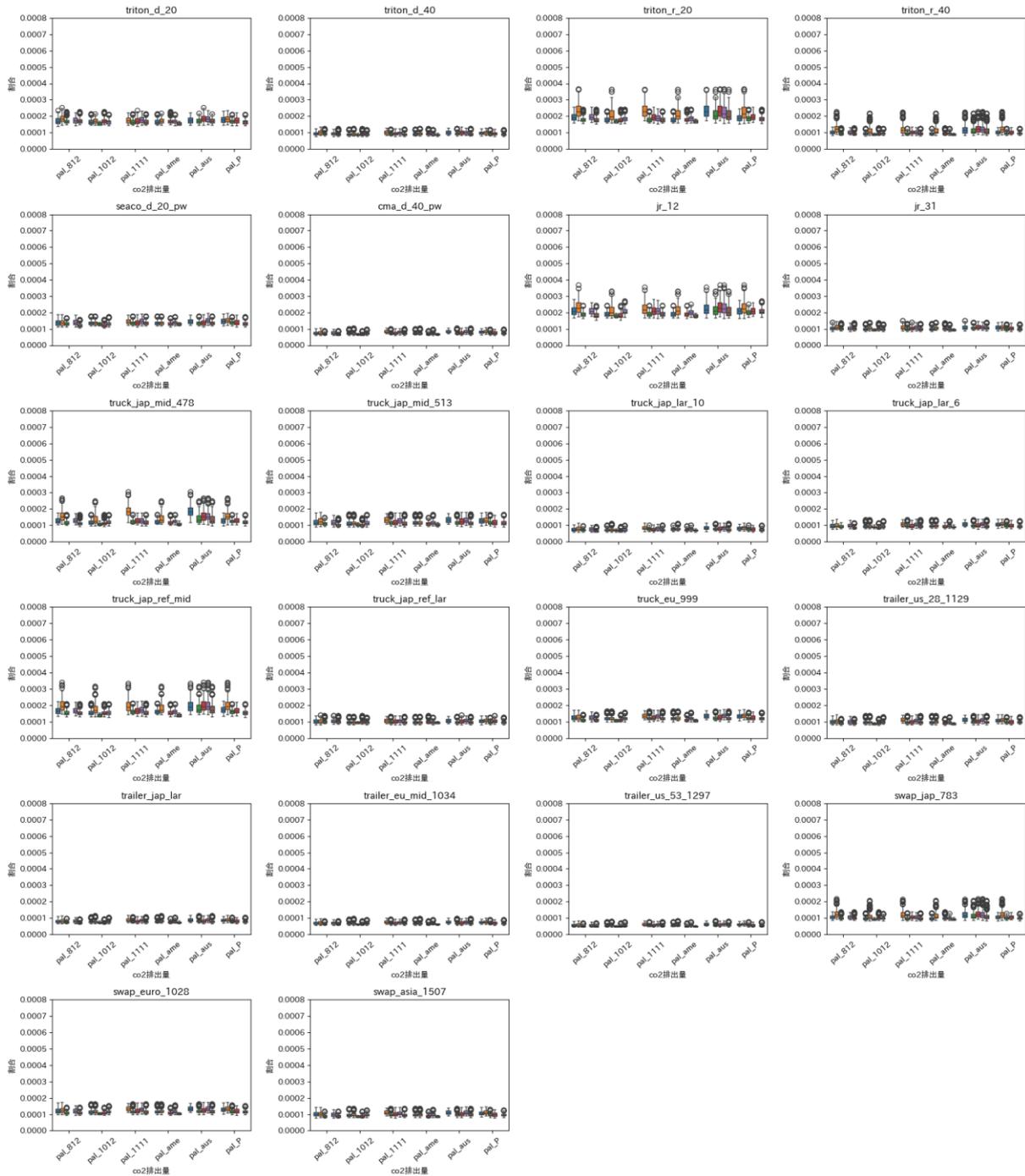


図 58 ケースのパレットへの積付け失敗事例

Appendix.A 荷台情報を引用した企業

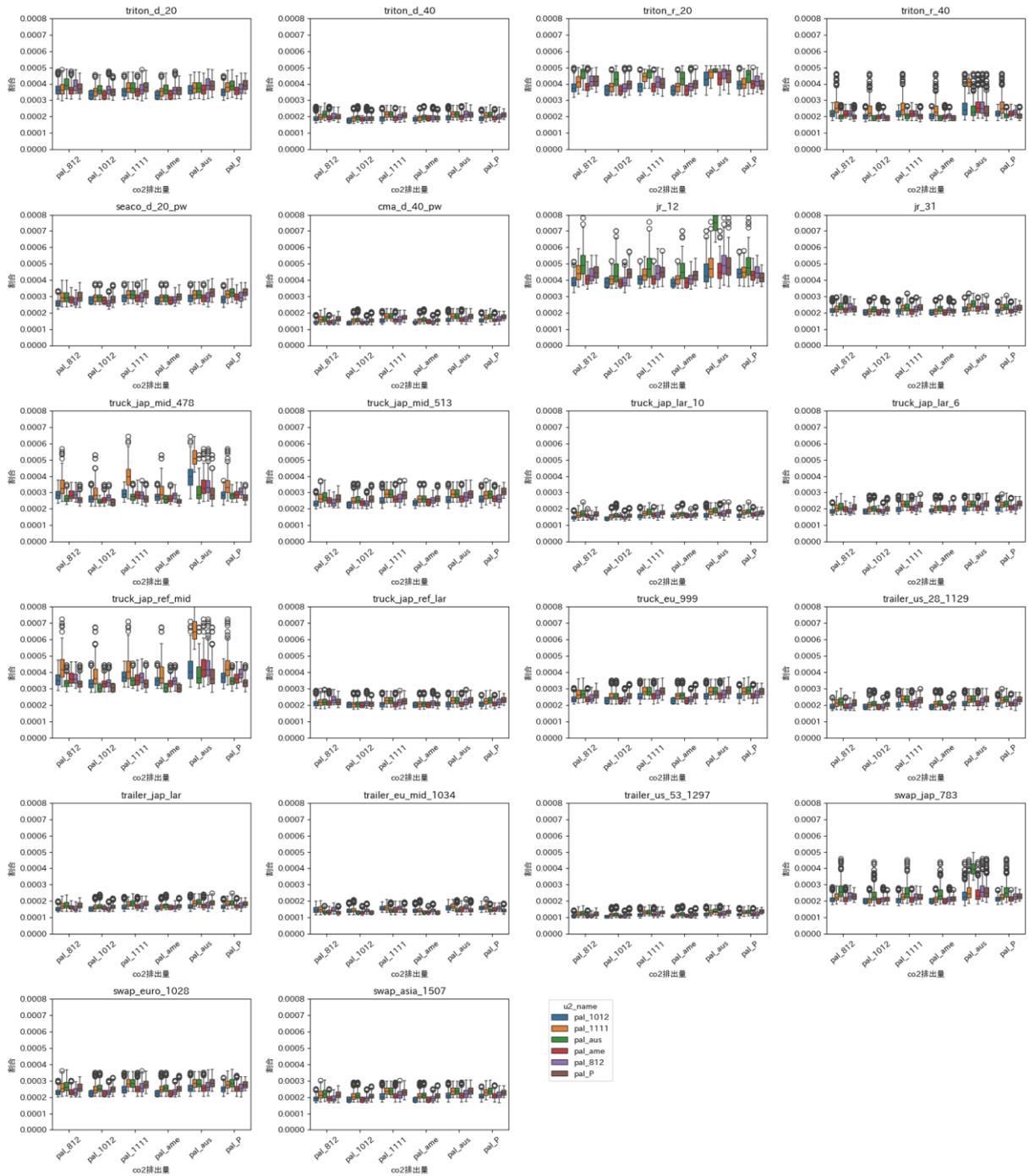
種類	企業名	ホームページ	
コンテナ	MSC	https://www.msc.com/en/solutions/dry-cargo	
	Maersk Line	https://www.maersk.com/industry-sectors/dry-cargo	
	CMA-CGM	https://www.cma-cgm.com/static/Communication/Attachments/CMACGM_Containers_Brochure_201706.pdf	
	COSCO	https://lines.coscoshipping.com/home/Services/containers/2	
	Hapag-Lloyd	https://www.hapag-lloyd.com/en/services-information/cargo-fleet/container.html	
	ONE	https://jp.one-line.com/ja/standard-page/container-specifications	
	EVERGREEN	https://www.evergreen-marine.com/te1/jsp/TE1_Containers.jsp	
	HMM	https://www.hmm21.com/e-service/information/containerInformation.de	
	YangMing Marine Transport Corp.	https://www.yangming.com/service/service_network/containerEquipment.aspx	
	Zim	https://www.zim.com/help/zim-shipping-containers	
	WAN HAI LINES	https://ip.wanhai.com/views/service/containerSpec.xhtml?file_num=66740&parent_id=67014&top_file_num=64735	
	Pacific International Lines	https://www.pilship.com/en-our-equipment-our-fleet-and-equipment-pil-pacific-international-lines/130.html	
	SITC	https://sitc.co.jp/en/vessel/container	
	KMTC	http://www.kmtcJapan.com/home/container_spec.asp	
	DHL	https://www.dhl.com/global-en/home/our-divisions/global-forwarding/forwarding-insights/linkedin/container-types-and-dimensions.html	
	Kuehne + Nagel	https://home.kuehne-nagel.com/en/-/knowledge/overview-of-the-different-container-types-and-sizes	
	DSV	https://home.kuehne-nagel.com/en/-/knowledge/what-is-a-reefer-container	
	DB SCHENKER	https://www.dbschenker.com/resource/blob/1427474/3cb1134f666a19d4e96323ad3145b8ff/ocean-container-pdf-data.pdf	
	KERRY LOGISTICS	https://kerrylogistics.com.mx/en/flete_maritimo.php	
	TRITON	https://www.tritoncontainer.com/products/specifications	
	tex	https://www.textainer.com/equipment/refrigerated	
	Florens	https://www.florens.com/equipment#/DryCargo	
	BEACON	https://www.beacon.ca/mfset_08_language_01_chinese_09_cntrs.htm	
	Seaco	https://seacoglobal.com/equipment/	
	JR	https://www.irfreight.co.jp/service/container.html	
	トラック荷台 セミトレーラー	いすゞ自動車	各カタログ
		三菱ふそうトラック・バス	各カタログ
		日本フルハーフ株式会社	各カタログ
		日本トレス株式会社	各カタログ
		株式会社バブコ	各カタログ
		Schmitz Cargobull	各カタログ
		KRONE	各カタログ
		Kögel Trailer	各カタログ
DSV		https://www.dsv.com/en/our-solutions/modes-of-transport/road-transport/trailer-sizes	
DHL		https://www.dhl.com/content/dam/dhl/local/fi/dhl-freight/documents/pdf/fi-freight-equipment.pdf	
wabash		各カタログ	
HYUNDAI TRANSLEAD		https://www.hyundaitranslead.com/	
utility Trailer		https://www.utilitytrailer.com	



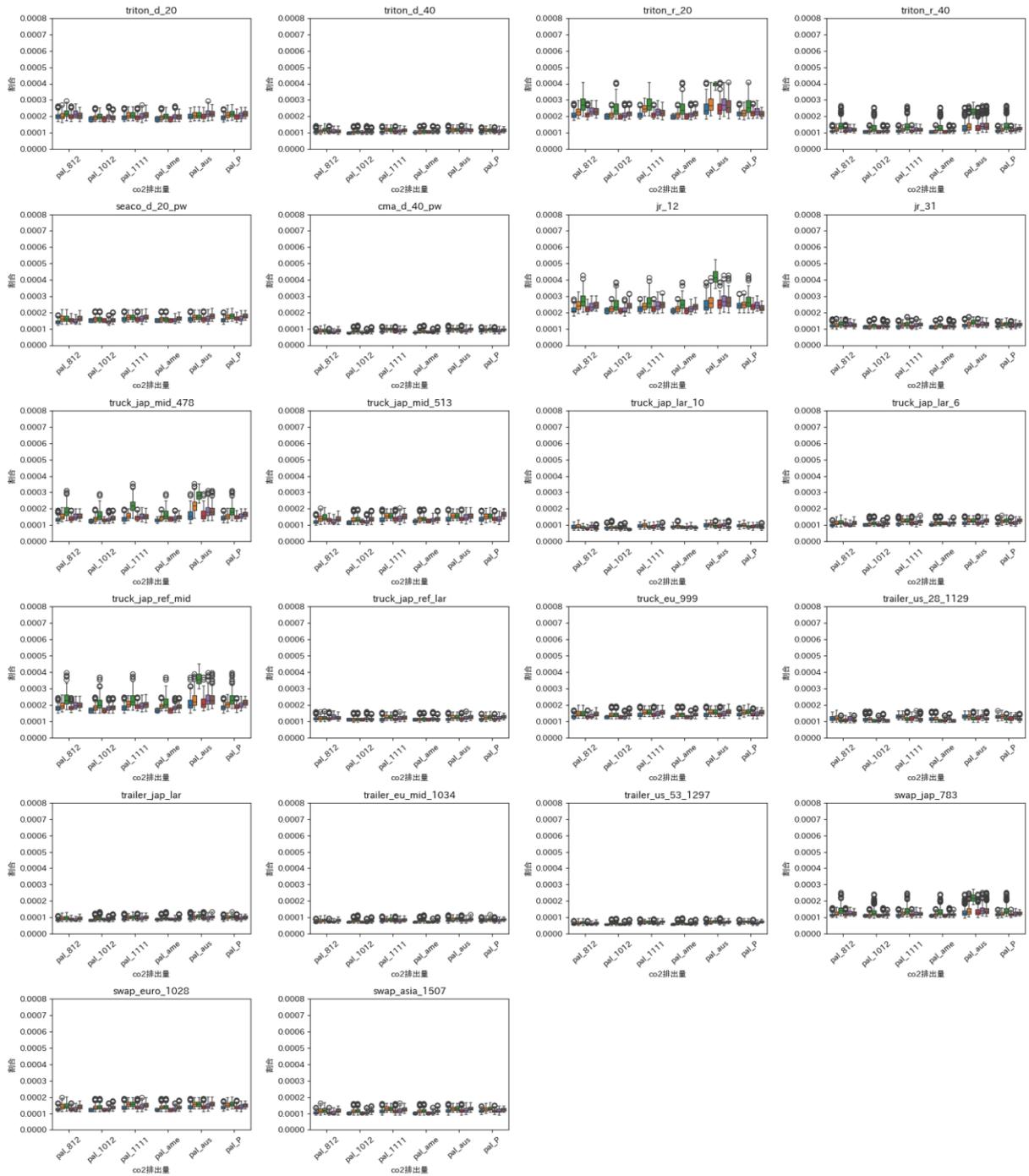
段ボール箱 CO₂ 比重 0.4



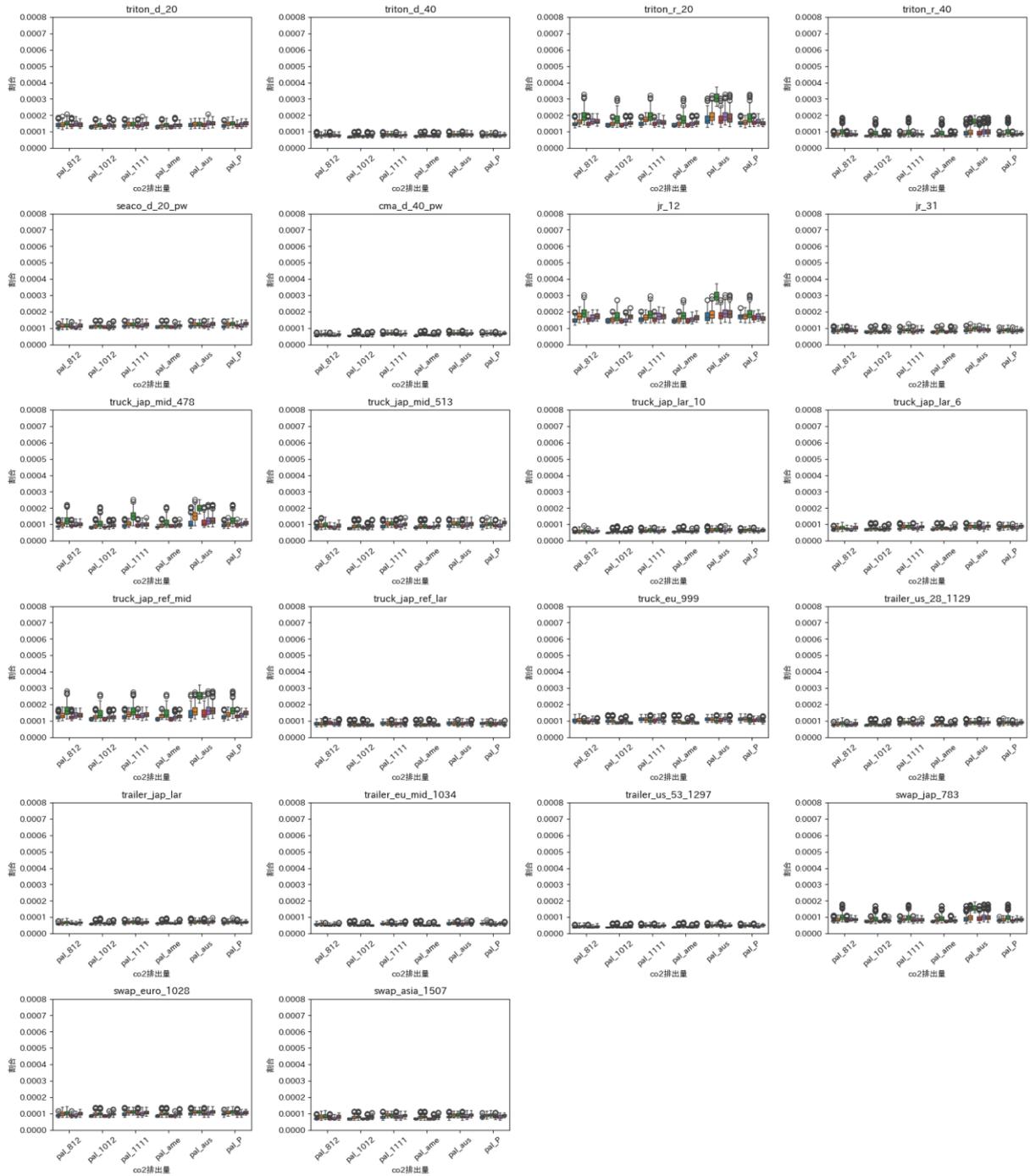
段ボール箱 CO₂ 比重 0.6



プラスチックケース CO₂ 比重 0.2



プラスチックケース CO₂ 比重 0.4



プラスチックケース CO₂ 比重 0.6

Appendix.C

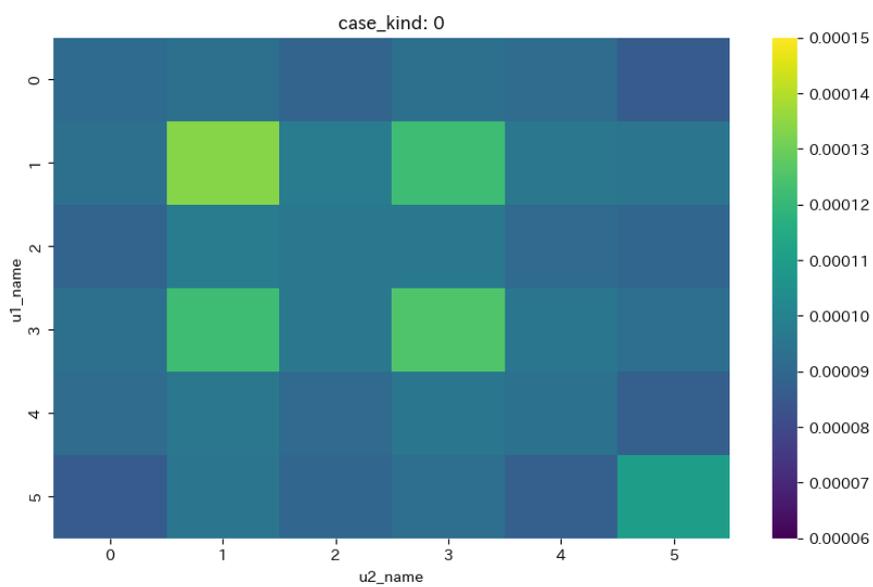


図 クレートの CO2 排出量の荷台ごと最大値の平均値

謝辞

本研究を行うにあたり、修士2年生までご指導いただいた黒川久幸先生に感謝申し上げます。ご多忙の中で副査を引き受けてくださった兵藤哲朗先生、奥村保規先生に感謝申し上げます。兵藤先生には様々なところでお世話になり、奥村先生には3年生のゼミでもお世話になりました。また、研究室の皆様方、大学院の前半に副指導教員を引き受けてくださった麻生敏正先生、研究の世界を見せていただき、私自身のつたない発表ながらもお聞きいただきご質問を頂いた物流学会の方々、現在は卒業し様々な場面で励ましてくださった多くの先輩方に多大なる感謝を、そして最後にいつも私を支えてくれた家族に感謝の気持ちを。

参考文献

- 1 国土交通省."トラック運送業の現状等について".国土交通省ホームページ. 2023.
<https://www.mlit.go.jp/common/001242557.pdf>
- 2 国土交通省."トラック輸送状況の実態調査結果(全体版)".国土交通省.平成27年
<https://www.mlit.go.jp/common/001128767.pdf>
- 3 国土交通省."トラック輸送状況の実態調査結果(概要版)".国土交通省.令和3年
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001409523.pdf>
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001490115.pdf>
- 4 JIS Z0111 : 2006 物流用語 1012
- 5 国土交通省.「ホワイト物流」推進運動のご案内と参加のお願い.国土交通省 hp.2019.
<https://www.mlit.go.jp/common/001284400.pdf>
- 6 国土交通省.「プレガイドライン(素案)～平成28年度パイロット事業事例集～」国土交通省
<https://www.tb.mlit.go.jp/kinki/content/0506-shiryou5.pdf>
- 7 国土交通省「国土交通白書2022」hp
<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r03/hakusho/r04/html/n1212000.html>
- 8 Murphy, P. R., & Poist, R. F. (1988). Management of logistical retro movements: an empirical analysis of literature suggestions. In Journal of the Transportation Research Forum (Vol. 29, No. 1, pp. 177-184).
- 9 Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. Resources, conservation and recycling, 97, 76-92.
- 10 Govindan, Kannan, and Hamed Soleimani. "A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a Journal of Cleaner Production focus." Journal of cleaner production 142 (2017): 371-384.
- 11 loop 「Purpose」
<https://explorelloop.com/ja/>
- 12 国土交通省「RTI(リターナブル物流容器)の普及促進」
https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/seisakutokatsu_freight_tk1_000215.html
- 13 花王「花王とコストコ、循環型梱包材として折りたたみコンテナをコスト導入」(2023/12 確認)
<https://www.kao.com/jp/newsroom/news/release/2022/20220719-001/>
- 14 Marko P Hekkert, Louis A.J Joosten, Ernst Worrell, Wim C Turkenburg,
Reduction of CO₂ emissions by improved management of material and product use: the case of primary packaging, Resources, Conservation and Recycling, Volume 29, Issues 1–2,2000,Pages 33-64.
- 15 Bengtsson, J., & Logie, J. (2015). Life cycle assessment of one-way and pooled pallet alternatives. Procedia cIRP, 29, 414-419.
- 16 Kočí, V. (2019). Comparisons of environmental impacts between wood and plastic transport pallets. Science of the total environment, 686, 514-528.
- 17 日本パレット協会「レンタルパレット保有数量」(2023/7 閲覧)
https://www.jpa-pallet.or.jp/_files/ugd/c5b628_85602a481d794658ac76304b6ff01bb9.pdf
- 18 Dorina Bugledits(2019). The Investigation of the Plastic Pallet Industry in the United States in 2018. Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment

of the requirements for the degree of Master of Science In Forest Products.(未公開)

¹⁹ Raballand, Gaël, and Enrique Aldaz-Carroll. "How do differing standards increase trade costs? The case of pallets." *World Economy* 30.4 (2007): 685-702.

²⁰ Bengtsson, Jonas, and James Logie. "Life cycle assessment of one-way and pooled pallet alternatives." *Procedia cIRP* 29 (2015): 414-419.

²¹ 国土交通省「パレット標準化推進分科会中間とりまとめ」
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001487775.pdf>

²² 国土交通省「冷蔵倉庫業界におけるパレットの利用について(一般社団法人日本冷蔵倉庫協会)」
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/content/001583840.pdf>

²³ Tornese, F., Gnoni, M. G., Thorn, B. K., Carrano, A. L., & Pazour, J. A. (2021). Management and logistics of returnable transport items: A review analysis on the pallet supply chain. *Sustainability*, 13(22), 12747.

²⁴ Roy, D., Carrano, A. L., Pazour, J. A., & Gupta, A. (2016). Cost-effective pallet management strategies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 93, 358-371.

²⁵ Elia, V., & Gnoni, M. G. (2015). Designing an effective closed loop system for pallet management. *International Journal of Production Economics*, 170, 730-740.

²⁶ Accorsi, R., Baruffaldi, G., Manzini, R., & Pini, C. (2019). Environmental impacts of reusable transport items: A case study of pallet pooling in a retailer supply chain. *Sustainability*, 11(11), 3147.

²⁷ Khan, M. M. H., Deviatkin, I., Havukainen, J., & Horttanainen, M. (2021). Environmental impacts of wooden, plastic, and wood-polymer composite pallet: a life cycle assessment approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 1607-1622.

²⁸ Tornese, F., Pazour, J. A., Thorn, B. K., Roy, D., & Carrano, A. L. (2018). Investigating the environmental and economic impact of loading conditions and repositioning strategies for pallet pooling providers. *Journal of Cleaner Production*, 172, 155-168.

²⁹ Tornese, F., Pazour, J. A., Thorn, B. K., & Carrano, A. L. (2019). Environmental and economic impacts of preemptive remanufacturing policies for block and stringer pallets. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1327-1337.

³⁰ Bilbao, A. M., Carrano, A. L., Hewitt, M., & Thorn, B. K. (2011). On the environmental impacts of pallet management operations. *Management Research Review*, 34(11), 1222-1236.

³¹ Silva, E., Oliveira, J. F., & Wäscher, G. (2016). The pallet loading problem: a review of solution methods and computational experiments. *International Transactions in Operational Research*, 23(1-2), 147-172.

³² Defraeye, T., Verboven, P., Opara, U. L., Nicolai, B., & Cronjé, P. (2015). Feasibility of ambient loading of citrus fruit into refrigerated containers for cooling during marine transport. *Biosystems Engineering*, 134, 20-30.

³³ Louw, L., & Nel, S. (2019). Analysis of the use of space and module-configured packaging to improve fruit export mass in a refrigerated container. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30(1), 94-109.

³⁴ Glock, C. H., & Kim, T. (2014). Container management in a single-vendor-multiple-buyer supply chain. *Logistics Research*, 7, 1-16.

³⁵ Sarkar, B., Ullah, M., & Kim, N. (2017). Environmental and economic assessment of closed-loop supply

chain with remanufacturing and returnable transport items. *Computers & Industrial Engineering*, 111, 148-163.

³⁶ Katephap, Nophanut & Limnararat, Sunpasit. (2017). The Operational, Economic and Environmental Benefits of Returnable Packaging Under Various Reverse Logistics Arrangements. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*. 10. 210-219. 10.22266/ijies2017.1031.23.

³⁷ Young Dae Ko, Injoon Noh, Hark Hwang, Cost benefits from standardization of the packaging glass bottles, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 62, Issue 3, 2012, Pages 693-702, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.026>.

³⁸ Iori, M., Martello, S. Routing problems with loading constraints. *TOP* 18, 4–27 (2010).

³⁹ Alonso, M. T., Martinez-Sykora, A., Alvarez-Valdes, R., & Parreño, F. (2022). The pallet-loading vehicle routing problem with stability constraints. *European Journal of Operational Research*, 302(3), 860-873.

⁴⁰ Iassinovskaia, G., Limbourg, S., & Riane, F. (2017). The inventory-routing problem of returnable transport items with time windows and simultaneous pickup and delivery in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Economics*, 183, 570-582.

⁴¹ GS1 「Reusable transport Items within GS1 EANCOM」

https://gs1go2.azureedge.net/cdn/ff/JRnRmFGad_BFsc_mabHy59h0Rph6xE_27TirX4Vyo/1421943752/public/docs/eancom/Reusable_Transport_Items_Implementation_Guideline.pdf

⁴² 日本パレットレンタル株式会社「プラ製 11 型片面二方差パレット(PT-11)」

<https://www.jpr.co.jp/service/pallet/plastic/pt11.html>

⁴³ 床面利用率

JISZ0111:2006, 1024

⁴⁴ Alphaliner TOP100

<https://alphaliner.axsmarine.com/PublicTop100/>

⁴⁵ TRITON 「Investor Presentation」

<investor-presentation-feb-2023.pdf> (<tritoninternational.com>)

⁴⁶ ARMSTRONG and ASSOCIATES, INC

<https://www.3plogistics.com/3pl-market-info-resources/3pl-market-information/aas-top-50-global-third-party-logistics-providers-3pls-list/>

⁴⁷ THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION

https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU_Trailer_Market_20180921.pdf

⁴⁸ European Automobile Manufacturers' Association

https://www.acea.auto/files/SAG_8_Trucks_Masses_Dimensions.pdf

⁴⁹ American Transportation Research Institute

<https://truckingresearch.org/wp-content/uploads/2022/08/ATRI-Operational-Cost-of-Trucking-2022.pdf>

⁵⁰ 国土交通省「スワップボディコンテナ車両利活用促進に向けた検討会」

https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/seisakutokatsu_freight_tk1_000151.html

⁵¹ 一般社団法人 P パレ共同使用会

<https://p-pallet.jp/about/>

⁵² 日本パレットレンタル株式会社

<https://www.jpr.co.jp/service/pallet/plastic/pt11.html>

⁵³ github.rectpack

<https://github.com/secnot/rectpack>

⁵⁴ Jylänki, J. (2010). A thousand ways to pack the bin-a practical approach to two-dimensional rectangle bin packing. retrived from <http://clb.demon.fi/files/RectangleBinPack.pdf>.

⁵⁵ rectpack ライブラリ

<https://github.com/secnot/rectpack>

⁵⁶ python の binpacking ライブラリーのすゝめ

<https://qiita.com/KyleKatarn/items/28e6105e9daea67884b4>

⁵⁷ 谷田溪, & 黒川久幸. (2023). トラック輸送におけるパレット化が CO₂ 排出量に及ぼす影響に関する研究. 日本物流学会誌= Journal of Japan Logistics Society/日本物流学会編集委員会 編, (31), 73-80.

⁵⁸ 公益社団法人 日本ロジスティクスシステム協会 「クレート等の標準化に関する調査」

https://www.logistics.or.jp/jils_news/%E3%80%90%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8%E3%80%91%E3%82%AF%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%83%88%E7%AD%89%E3%81%AE%E6%A8%99%E6%BA%96%E5%8C%96%E3%81%AB%E9%96%A2%E3%81%99%E3%82%8B%E8%AA%BF%E6%9F%BB.pdf

⁵⁹ 原出典：不明

孫引き：PALLET ENTERPRISE 「It's A Small World After All - Will Global Standards Impact Local Markets?」 (8/1/2002)(2022/8 確認済み)

⁶⁰ 国土交通省 「第 1 回洋紙・板紙懇談会の論点」

https://www.tb.mlit.go.jp/shikoku/content/vol11_tokushima_file02.pdf

⁶¹ 日本規格協会. 標準化教育プログラム「標準化の方法」

https://www.jsa.or.jp/datas/media/10000/md_2417.pdf

⁶² Egyedi, Tineke. (2000). The Standardised Container: Gateway Technologies in Cargo Transport. *Homo Oeconomicus*. 17. 231-262.

⁶³ Jung, S. T., & Yoon, N. S. (2013). The Effect on Logistics Cost of Incompatible Packaging Sizes in T-11 and T-12 pallet systems. *Journal of Distribution Science*, 11(8), 15-23.