

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

谷田 溪

指導教員 黒川 久幸 教授

キーワード: CO₂、パレット、RTI、標準化

1. 序論

近年、少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少から労働力不足が深刻な問題となっている。このため物流現場においても自動化機器の導入や物流 DX の推進による省人化の促進を図る必要性が指摘されている。そして、このための社会的課題として、モノ・データ・業務プロセス等の標準化に取り組むことが必要とされ、官民物流標準化懇談会において活発な議論がなされている。

そこで本研究では官民物流標準化懇談会のパレット標準化推進分科会においても議論が行われているパレットを対象に標準化に関して検討を行うこととする。パレット化は荷役時間の削減をもたらし、生産性向上に貢献する一方で、トラックの積載率を低下させ、輸送効率の低下や CO₂排出量の増加といった負の影響を与える¹⁾。そのためパレットの標準化では、負の影響に関して評価する必要がある。

しかし、既存研究では貨物の積み替え問題などに対応するためにサイズの標準化の議論がなされてきた²⁾が、環境面に関しては十分な検討がなされておらず、パレット標準化推進分科会においても十分な検討がなされていない。

そこで、本研究では環境負荷が少ないとされる RTI (Returnable Transport Items) としてプラスチックケースを活用した場合を想定し、様々なパレットサイズ及び輸送機器等との組合せから積載率と CO₂排出量を試算し、その結果を比較することでパレットサイズの標準化に関する知見を得ることを目的とする。

2. 研究対象と研究方法

2.1 研究対象

世界では様々なサイズのパレットが使用されており、また、パレットを積載する荷台、パレットに積載するケースにも多種多様なサイズのものが使用されている。そこで、検討では表 1 に示すように代表

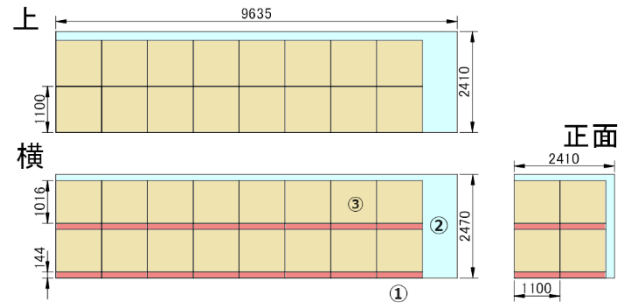


図 1 荷台へのパレット積み貨物の積載図

的なサイズのパレット等を対象に検討を行うこととする。具体的に対象とするのは、パレットを 6 種類、車両を 16 種類、海上コンテナを 6 種類である。

まず、車両の種類は、一体型の荷台、セミトレーラー、スワップボディコンテナ、日本の鉄道貨物輸送に利用されるコンテナとし、対象とする国については日本、アメリカ、ヨーロッパとした。海上コンテナについては、Alphaliner Top10 を参考に上位の企業が公開しているコンテナの寸法情報を参照した。トラックの各情報は、EU 内のアメリカ、ヨーロッパのトレーラー製造企業のシェアを調査した資料を元に上位の企業をそれぞれ 3 社ずつ各ホームページから寸法を参照した。日本の企業は、シェア率が不明だったこともあり、一部のトレーラー企業、トラック会社の荷台情報を参照した。そして、集めたデータの中から本研究で対象とするサイズを決定した。次に、パレットは ISO で規定されている寸法、自重や耐荷重は各パレット一律で 20kg、1000kg に設定した。そして、パレットに積載するプラスチックケースは、GS1 が発表している smart-box と JIS を参考にした。段ボールはプラスチックケースと容積の積載率、CO₂排出量の比較を行うために、外寸を smart-box と同じにして、厚みを 5mm、自重を一律で 1kg に設定した。高さは、smart-box の中間の寸法を選んだ。クレートは物流クレート標準化協議会のサイズを参照した。

2.2 研究方法

様々なサイズのパレットやコンテナ等を使用した場合の評価として、積載率と輸送中の CO₂排出量から評価を行う。図 1 は、大型トラックの荷台へのパレットの積載状態を表している。パレットやケースが容積の積載率を下げる原因は 3 つあり、①のパレット自体の容積、②のパレットと荷台寸法の間で発生する空間、③のパレットにケースを積載した際のケース間の空間である。本研究は、これらの影響を調べるために、次の 3 つに分けて検討を行う。

- (1) パレットと荷台の組合せの影響評価
- (2) パレットとケースの組合せの影響評価
- (3) 貨物の比重ごとに上記(1)と(2)が輸送中の

トンキロあたり CO₂排出量に与える影響評価

まず、(1)では、1 種類のパレットのみ使用、2 種類のパレットを組合せ使用する場合の床面利用率を評価する。(2)では、段ボール箱、プラスチックケース、標準クレートを積載した際の荷台空間のうち実際に貨物が載せられる容積の積載率を評価する。(3)では、比重の異なる貨物を積載した場合に RTI の重量や容積積載率が貨物自動車のトンキロあたり CO₂排出量にどのような変化をもたらすのかを評価する。

2.3 調査対象物の決定と CO₂排出量の算出方法

パレットの荷台への積み込み、ケースのパレットへの積み込みの方法は python の rectpack ライブラリを使用した。高さはフォークリフト荷役を考慮し、高さ 15cm 分の空間の余裕を確保しパレット 2 段積み状態とした。環境への影響の評価として貨物のトンキロあたり CO₂排出量を算出する。算出方法は積載率を扱うことから、改良トンキロ法を利用する。

3. 分析結果

3.1 パレットの床面利用率

単種類のパレット、2 種類のパレットを積付けた各荷台の床面利用率の代表値を表 2、表 3 に示す。結果より、平均値は単種類、2 種類共に 12(1012)、アメリカパレット(Ame)が高い平均値を示すことがわかり、オーストラリアパレット(Aus)が低い値を示すことがわかった。標準偏差は、オーストラリアパレット、EURO パレット(812)は高い値を示し、その他のパレットは 4 に近い値を示している。12 パレットやアメリカパレットがこのような傾向を示したのは、長方形パレットで

表 1 分析の対象物の各種情報

名称	dim(mm) L,W,H			NET(kg)	Tare(kg)
triton_d_20	5898	2352	2393	28380	
triton_d_40	12032	2352	2393	28960	
triton_r_20	5454	2288	2263	27600	
triton_r_40	11588	2288	2544	30340	
seaco_d_20_pw	5899	2418	2698	27700	
cma_d_40_pw	12095	2444	2692	29740	
jr_12	3647	2275	2252	5000	
jr_31	9245	2350	2210	13800	
swap_jpn_783	9425	2285	2245	12800	
swap_euro_1028	7310	2470	2517	12800	
swap_asia_1507	7310	2470	2730	12800	
truck_jpn_mid_478	6235	2230	2320	5775	
truck_jpn_mid_513	6235	2410	2325	5855	
truck_jpn_lar_10	10020	2410	2635	13800	
truck_jpn_lar_6	9675	2410	2500	14200	
truck_jpn_ref_mid	6165	2310	2110	5855	
truck_jpn_ref_lar	9500	2390	2440	13100	
truck_eu_999	8250	2460	2300	28000	
trailer_us_28_1129	8534	2578	2800	28000	
trailer_jpn_lar	13620	2405	2305	26600	
trailer_eu_mid_1034	13620	2480	2600	33060	
trailer_us_53_1297	16154	2578	2794	24789	
EURO	800	1,200	144	1000	20
T11	1,100	1,100	144	1000	20
Aus	1,165	1,165	144	1000	20
12	1,000	1,200	144	1000	20
Ame	1,219	1,016	144	1000	20
Pパレ	1,100	900	144	1000	20
GS1_typeB	367.00	267.00	188.50	30	1.7
GS1_typeE	567.00	367.00	188.50	30	2.57
JIS_B2	567.00	467.00	188.50	30	2.38
JIS_C2	517.00	333.00	188.50	30	3.17
cbb_typeB	390	290	201	30	1
cbb_typeE	590	390	201	30	1
cbb_B2	590	490	201	30	1
cbb_C2	540	356	201	30	1
crate_st1st	520	334	110	20	1.4
crate_st2de	490	400	126	20	1.43
crate_st2ha	400	210	126	20	0.81
crate_st2sh	490	400	86	20	1.26

表 2 単種類積載時の床面利用率の平均値

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]

表 3 2 種類積載時の床面利用率の平均値

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]

あることが 1 つ理由に考えられる。長方形であるため 2 枚並べた時に 3 パターンの長さを作ることができ、その他のパレットと積み付けた場合も対応がし易い。EURO パレットや P パレットが長方形であるにも関わらず平均値が 12 パレットより低いのは、2 つ並べても 2 辺に差があるため、または 2400mm に近い幅の荷台には長さが足りないためと考えられる。

3.2 RTI 積載時の容積積載率

単種類のパレット積載時の段ボール、プラスチックケース、クレートを積載した荷台の容積積載率の図をそれぞれ図 2、図 3、図 4 に示す。図より段ボール箱の最大の容積積載率の値はおおよそ 75% に近い値を示すが、プラスチックケースになるとその最大値が 70% ほどになっていることがわかる。このことより、寸法の通りプラスチックケースは段ボールに積載率の面で劣ることがはっきりわかる。各パレットの傾向は床面利用率と同じ傾向を示しており、パレットに積載できるケースはどのパレットであってもパレットあたり床面利用率の高いサイズが有ることがわかる。クレート積載時に着目するとどのパレットであっても、積載率が 60% を下回ることがわかる。最大値を各パレットで比較した時、T11 パレット、P パレットの積載率が低いことがわかる。以上より標準化を考慮する際は、パレットに積載する様々なケースを対象とすることがより望まれるといえる。

3.3 CO₂排出量の分析結果

単種類のパレット、2 種類のパレットを利用した時の貨物自動車から排出される CO₂排出量の結果を図 5、6 に示す。それぞれは比重 0.6t/m³の貨物を載せた状態で 1 つの荷台の CO₂排出量の平均値をとり全ての荷台の平均値の平均を取った値をそれぞれのマスごとに示している。Case_kind の数値は 0 がプラスチックケース、1 が段ボールを表している。u1_name と u2_name はパレットの種類を表し、0: 12 パレット、1: T11 パレット、2: EURO パレット、3: P パレット、4: アメリカパレット、5: オーストラリアパレットを表している。それぞれを比較して、プラスチックケースは段ボールよりもおおよそ 2×10^5 (t/トンキロ) ほど CO₂排出量の値が全体的に大きくなっていることがわかった。CO₂排出量が低い組み合わせは、12 パレット単種類、アメリカパレット単種類を積載した場合であることがわかる。これ

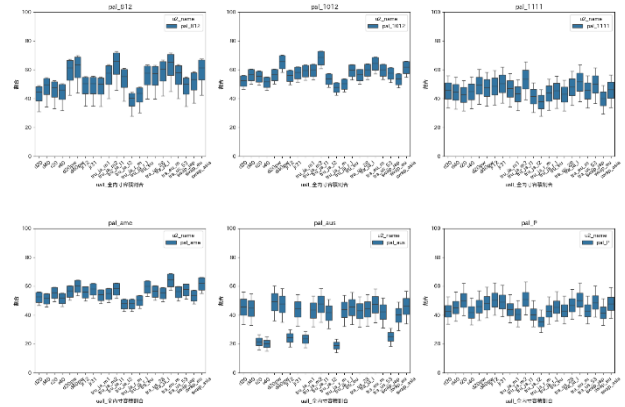


図 2 段ボール積載時の内寸容積割合

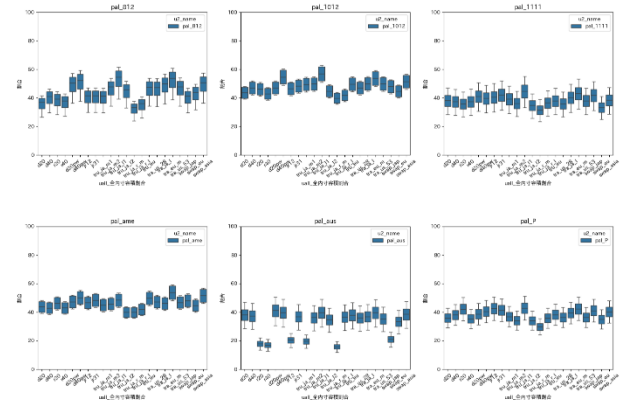


図 3 プラスチックケース積載時の内寸容積割合

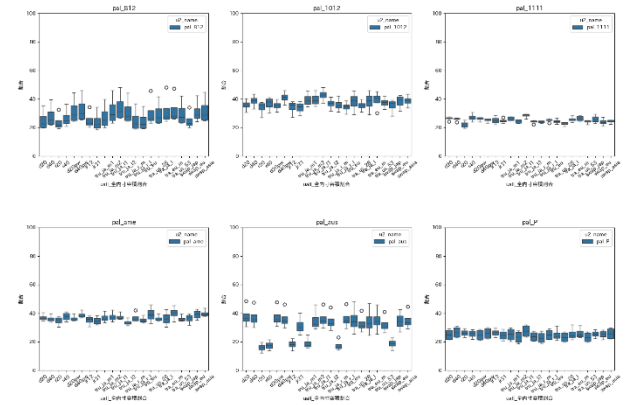


図 4 クレート積載時の内寸容積割合

ら 2 種類以外のパレットに関しては、単種類で積載するよりも他のパレットと組み合わせた状態のほうが CO₂排出量を減少できていることがわかる。2 種類のパレットの組み合わせを見ると、大部分は 12 パレット、アメリカパレットとの組み合わせが良いこと

がわかるが、その他のパレットでは EURO パレットが 12 パレットの組み合わせ等を含め良い。

次に、図 7 は各荷台の CO₂排出量の平均値のうち各パレットの組み合わせごとに値を取り出し、その中の最大値(_max)と最小値(_min)を段ボール(d)、プラスチックケース(p)それぞれ比重ごとにプロットしたグラフである。_width は、_max から_min を引いた値である。素材の重いケースを利用して貨物を積載した場合、比重が小さい貨物は梱包資材の影響を大きく CO₂排出量が大きくなりその振れ幅も大きくなることがわかった。比重が大きい貨物であっても CO₂排出量の影響に差はある程度あるが、量ケースの振れ幅の差は小さくなることがわかった。

3.4 パレットサイズの標準化に対する考察

パレットサイズの標準化を考えた時、仮に標準サイズを 1 つに決めるとするならば容積の積載率、そして CO₂排出量の観点からして 12 パレット、アメリカのパレットが良いと考えられる。この 2 つのパレットは長方形のため、2 枚並べた時に[縦—横、縦—縦、横—横]の 3 つのパターンを作れるため、現在の多様化した荷台サイズの柔軟に対応できる。これが正方形のパレットになると、多様化した荷台サイズに対応できず目的にあった荷台を選ぶことができない。国際的な一貫パレチゼーションを行う上で、あるマネジメントが確立している場合、パレットサイズは 1 種類になることが良いと考えられる。例えば、世界的に A のパレットが大部分をしめる中、ある国 α は B のパレットサイズを利用しており、 α 国内では B のパレットサイズで普及させねばならないという構造は矛盾を抱えることになる。つまり、 α 国内の自分の損を恐れた企業同士が協力して独立した環境を作ることでパレットが循環するため、パレットサイズ B の普及が進まない結果になり得るのだ。

4. 結論

本研究では、様々なサイズのパレットやケース、車両やコンテナを対象に、約 3 万通りの組合せについて積載率と輸送中の CO₂ 排出量を算出し、比較することで望ましいパレットのサイズについて検討を行った。その結果、12、アメリカパレットが多くの車両やコンテナにおいて、積載率及び輸送中の CO₂ 排出量からみて望ましいことがわかった。また、積載率に関する結果から、現在の多様なサイズのトラ

ックの荷台に対応するためには、様々な幅に対応できる長方形のパレットが良いことがわかった。

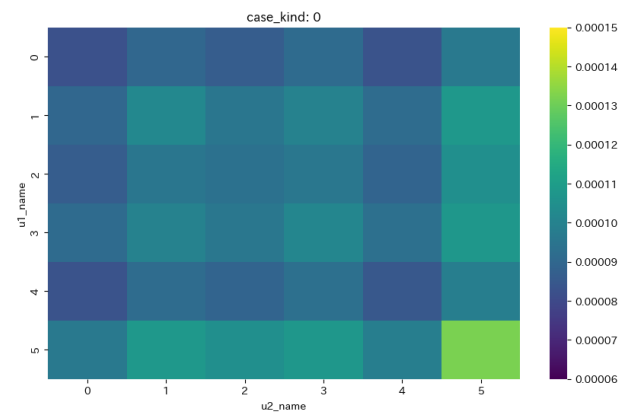


図 5 プラスチックケース積載時の CO₂排出量

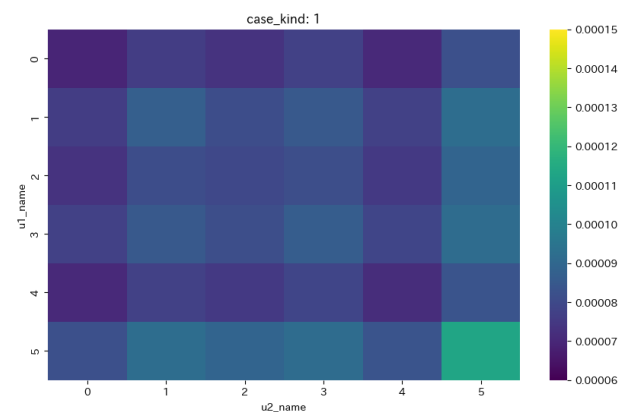


図 6 段ボール箱積載時の CO₂排出量

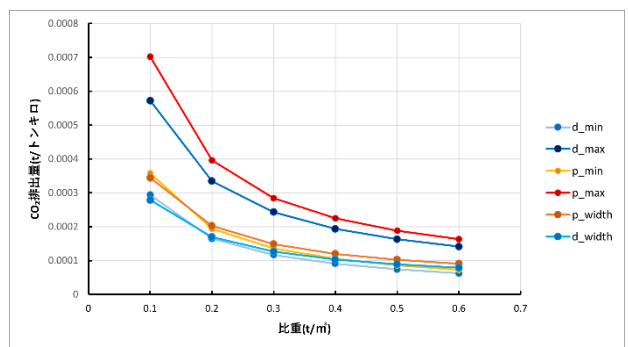


図 7 パレットごとの CO₂排出量の振れ幅

参考文献

- 国土交通省. 「物流標準化調査小委員会調査結果」
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/content/001583839.pdf>
- Kočí, V. (2019). Comparisons of environmental impacts between wood and plastic transport pallets. Science of the total environment, 686, 514-528.