

技術報告

新規バルクコンテナを利用したダイコン流通 プロセスにおけるCO₂排出量削減の可能性

折笠 貴寛*、中村 宣貴**、ロイ ポリトシュ***、タンマウオン マナスイカン**、
兼田 朋子****、吉田 誠*****、曾我 綾香*****、大野 誠治*****、
新實 誉也*****、横山 幸一*****、西尾 恵*****、小出 章二*、
椎名 武夫*****

Possibility of CO₂ Emissions Abatement by Using Newly Developed Bulk Container for Radish Distribution Process

Takahiro ORIKASA*, Nobutaka NAKAMURA**, Poritosh ROY***,
Manasikan THAMMAWONG**, Tomoko KANETA****, Makoto YOSHIDA*****,
Ayaka SOGA*****, Seiji OHNO*****, Tomoya NIIMI*****, Koichi YOKOYAMA***** , Megumi
NISHIO***** , Shoji KOIDE* and Takeo SHIINA*****

我が国において、ほとんどの青果物はワンウェイで利用されるダンボールを用いて輸送されている。本研究では、出荷容器として段ボール箱に替えて新規コンテナを青果物流通に利用した場合のCO₂排出量削減の可能性について検討した。その結果、段ボールを用いたダイコン輸送のCO₂排出量は、小型コンテナおよび新規コンテナといった他の輸送資材を用いた輸送方式におけるそれと比べて大となった。例えば、段ボール輸送と比べて新規コンテナを用いた輸送では、CO₂排出量を41%削減する結果となった。小型コンテナおよび段ボールの容器製造・輸送工程のCO₂排出量は大きいものの、ダイコン輸送のCO₂排出量は全体のCO₂排出量に寄与する。この結果は、ダイコン輸送における総CO₂排出量は、輸送距離が増加するにしたがって増加することを示した。新規コンテナの耐用回数を増加させた時の影響についても検討したところ、新規コンテナの耐用回数を向上させることにより、更なるCO₂排出量の削減が期待される。以上より、既存の段ボール箱による流通方式に替えて、新規コンテナによる物流を導入することにより、大幅にCO₂排出量を削減する効果が示された。

In Japan, most fresh fruit and vegetables are shipped using corrugated fiberboard boxes (FB), which are recycled after only one use. In this study, we investigated the possibility of reducing CO₂ emissions by using an alternative, newly developed container (NDC). As the results, CO₂ emissions associated with radish distribution using FB are larger than those using other types of boxes, such as plastic containers or

*岩手大学農学部, Faculty of Agriculture, Iwate University.

**農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所, National Food Research Institute.

***ゲルフ大学工学部, School of Engineering, University of Guelph.

****徳島県立農林水産総合技術支援センター, Tokushima Agriculture, Forestry, and Fisheries Technology Support Center

*****神奈川県農業技術センター, Kanagawa Agricultural Technology Center

*****キョーラク株式会社, Kyoraku Co. Ltd.

*****王子インターパック株式会社, Oji Interpack Co., Ltd.

*****ホクレン農業協同組合連合会, Hokuren Federation of Agricultural Cooperatives.

*****連絡者(Corresponding author), 千葉大学大学院園芸学研究科 (〒271-8510 千葉県松戸市松戸 648), Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Chiba 020-8551, Japan,
TEL:047-308-8847, FAX:047-308-8847, Email:shiina@chiba-u.jp

the newly developed container (NDC). In comparison to using FB, using the NDC reduced CO₂ emissions by 41%. While the CO₂ emissions of container production and distribution of fiberboard boxes or plastic containers were significant, the CO₂ emissions of radish distribution had a profound effect on the total CO₂ emissions. The results showed that the total CO₂ emissions associated with the radish distribution process are increased with increasing distribution distances. The impact of the longer expected lifetime of the NDC was also investigated, and was found to lead to a reduction in the total CO₂ emissions of the radish distribution process. CO₂ emissions could be reduced significantly by shifting from the existing distribution system, which employs FB, to a new system that employs the NDC.

キーワード：バルクコンテナ、段ボール、ダイコン輸送、CO₂排出

Keywords : bulk container, corrugated fiberboard box, radish distribution, CO₂ emission

1. 緒言

わが国における平成18年度の青果物出荷量は17,244千t¹⁾であり、そのほとんどの場合において、青果物は段ボールを用いて運搬されている。近年、温室効果ガス排出削減に向けた取り組みの加速化が期待されている。国内で消費される国産野菜の供給に関する環境負荷のうち、約30%が流通によるものである²⁾。そのため、青果物流通においても廃棄物削減の観点から、3R(リデュース、リユース、リサイクル)を総合的に推進することが求められている³⁾。このような観点から、ワンウェイで利用される段ボールよりも、廃棄物削減にとって優位なリユース容器の利用が注目されつつあり、農林水産省でも「食品供給コスト削減アクションプラン⁴⁾」の中で、環境負荷低減のための通い容器の利用促進を掲げている。これを受けて発足した通い容器普及促進協議会では、「通い容器の本格的な普及に向けて⁵⁾」を発表し、通い容器への転換による段ボール箱使用の削減により、環境に配慮した循環型容器としての優位性を積極的にアピールしていくことが重要と報告している。しかしながら、青果物流通における通い容器の普及率は3%程度と推定されており⁶⁾、

通い容器を用いた青果物流通はほとんど普及していないのが現状である。これは、循環型容器を用いた場合の環境への優位性について定量的に評価した研究事例が極めて少ないことが理由の一つと考えられる。一方、これまで青果物流通の一部で利用されていた、通い容器の一種である一般的な小型プラスチックコンテナ(以下、小型コンテナ)とは異なる、新しいリユース式の大型コンテナ(以下、新規コンテナ)が開発された。この容器は、プラスチック製のパレットと上ぶた、および複数両面段ボール胴枠(スリーブ)からなり、いずれもリユースされることが特徴である。新規コンテナは、プラスチック部分に数種類の寸法規格があり、高さ方向の寸法を規定するスリーブのサイズは任意となっているため、内容品に応じたサイズ選択が可能となっている。また、軽量である、耐久性がある(プラスチック部分は100回以上の使用に耐える)、繰り返し利用容器としての優位性を持つだけでなく、スリーブの折りたたみが可能で使用時に対する非使用時の容積が約7分の1に低下するため、復路の輸送効率が向上するという特徴を持つ⁶⁾。このような利点を有する新規コンテナを実際の青果物流通に適用し

た例としては、兼田らのダイコン流通における振動特性と青果物の損傷特性に関する解析事例⁸⁹⁾がある。これらの報告では、適切な条件下で新規コンテナを用いることで、ダイコン輸送中に発生する損傷を低減できると報告しており、新規コンテナを用いた青果物流通における品質面からの検討は行われつつある。しかしながら、小型コンテナを用いた青果物流通における温室効果ガス排出量を、段ボール箱を用いた青果物流通のそれと比較した報告は極めて少なく¹⁰⁾、ましてや新規コンテナによる青果物流通の温室効果ガス排出量

について報告した例は見当たらない。そこで、本研究では、出荷容器として段ボール箱に替えて、小型コンテナおよび新規コンテナを青果物流通に利用した場合のCO₂排出量についてライフサイクルアセスメント手法を用いて解析するとともに、トラックの輸送距離やリユース容器の利用において避けられない耐用回数の変動を考慮した解析を行い、青果物流通に新規コンテナを用いた場合の環境優位性について検討したので報告する。

2. 研究方法

2.1 解析対象と機能単位

段ボール箱、小型コンテナおよび新規コンテナ流通のシステムバウンダリを Fig. 1、Fig. 2 および Fig. 3 にそれぞれ示す。本研究の解析範囲は、出荷容器の製造・輸送段階、青果物の流通段階、容器の廃棄段階の3段階に設定した。機能単位は、青果物1kgあたりのCO₂排出量 [g-CO₂/kg]とした。

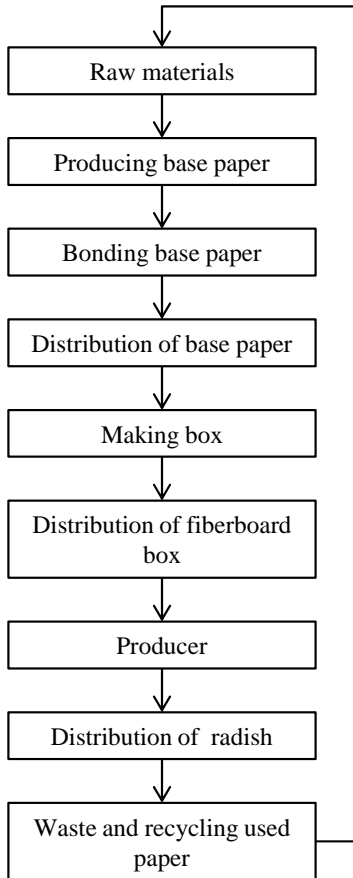


Fig. 1 System boundary of radish distribution process using fiberboard box

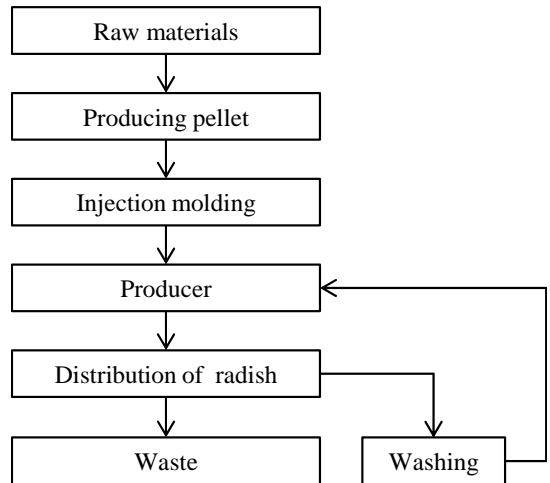


Fig. 2 System boundary of radish distribution process using plastic container

新規バルクコンテナを利用したダイコン流通
プロセスにおけるCO₂排出量削減の可能性

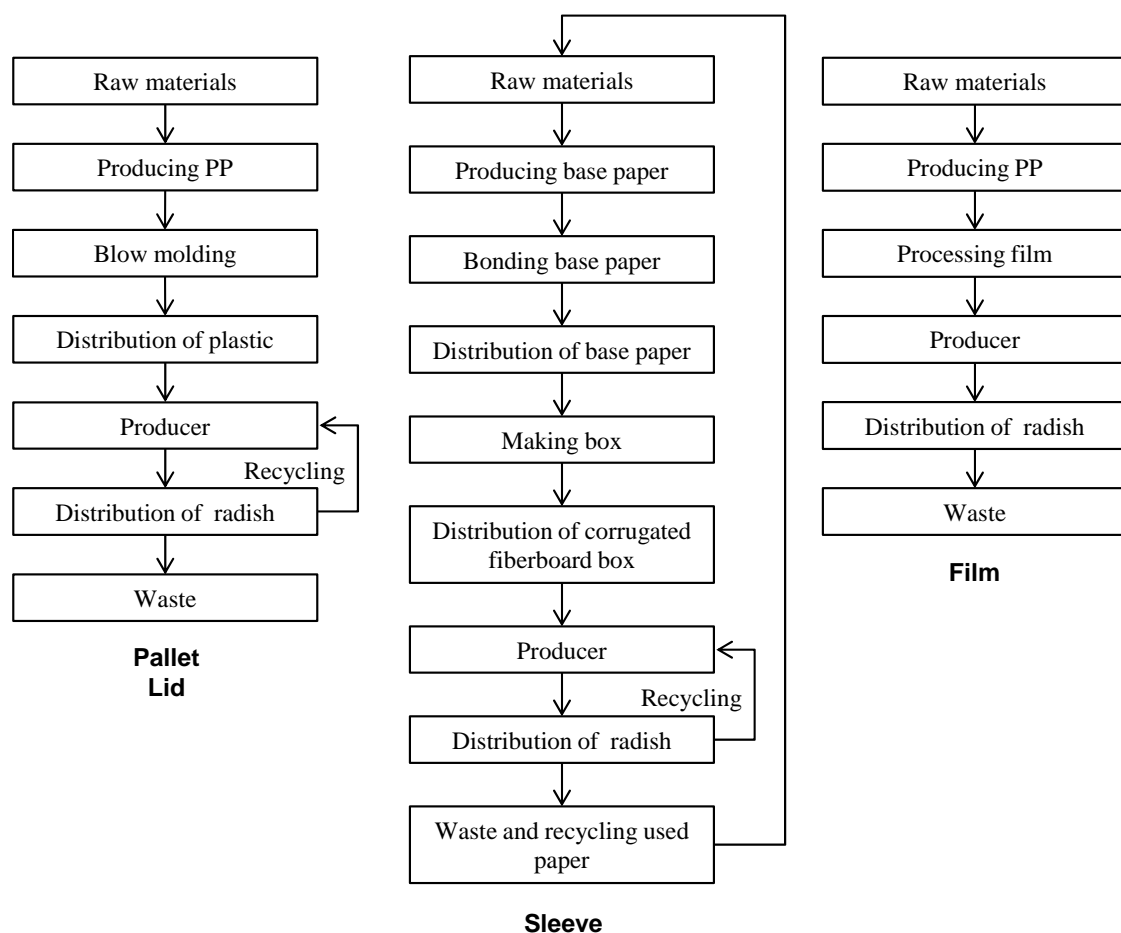


Fig. 3 System boundary of radish distribution pro

2.2 評価対象青果物

わが国でも比較的取扱量が多く、主要な青果物であるダイコンを評価対象とした。

2.3 出荷容器

段ボール箱、小型コンテナ、新規コンテナ(大)および新規コンテナ(小)の4種類を設定した。

2.3.1 段ボール

ダイコン用段ボール箱のサイズは、内寸590×330×150 mm、1箱当たりの質量は0.97 kg、内容量は10.0 kgと設定した。段ボール箱製造プロ

セスフローを Fig. 1 に示す。段ボール箱1 kg 当たりの製造時に発生するCO₂量は、全国段ボール工業組合連合会が公表している原紙製造のCO₂排出係数¹¹⁾および段ボール製造のCO₂排出係数¹¹⁾より算出した。ダイコン輸送用段ボール箱製造の解析に用いたパラメータとCO₂排出係数を Table 1 に示す。これらのCO₂排出係数を基に質量基準で換算し、段ボール箱1 kg 当たりのCO₂排出係数0.55 kg-CO₂/kgを決定した。段ボールはほぼ全量がマテリアルリサイクルされ、段ボール製造の原単位

にはマテリアルリサイクルを含むため、段ボール廃棄に伴うCO₂排出量は0とした。

2.3.2 小型コンテナ

ダイコン用小型コンテナ (PP 製) は、内寸が487×328×300 mm、1箱当たりの質量が2.0 kg、内容量が15.0 kgと設定した。ダイコン輸送用小型コンテナ製造の解析に用いたパラメータとCO₂排出係数をTable 1に示す。小型コンテナ1箱当たりの製造で発生するCO₂量は、全国段ボール工業組合連合会が公表している値 (0.50 kg-CO₂/1.68 kg = 0.298 kg-CO₂/kg)¹¹⁾を質量基準で換算し、0.595 kg-CO₂/箱と設定した。なお、小型コンテナの耐用回数は100回とした。

2.3.3 新規コンテナ

新規コンテナ (タフパック、キョーラク・王子インターパック製) の概要をFig. 4に示す。新規コンテナは前述のような繰り返し利用容器としての優位性を持つだけでなく、折りたたみ可能 (非使用時のサイズが使用時の約7分の1) であるため、復路の輸送効率が向上する特徴を持つ。新規コンテナのサイズは、内寸 1078×1058×790 mm および 1078×1058×390 mm の大小2種類とし



Fig. 4 Overview of newly developed container A is a newly developed container in use, B is nine boxes of newly developed container in non-use

Table 1 CO₂ emission factor of each container at the box production and distribution process

		Parameter	CO ₂ emission factor	Source
FB	Sleeve	0.968 kg/box	0.553 kg-CO ₂ /kg	(11)
	linerboard	0.487 kg/box	0.441 kg-CO ₂ /kg	(11)
	Inner sheet	0.27 kg/box	0.478 kg-CO ₂ /kg	(11)
	Producing FB	0.87 m ² /box	0.063 kg-CO ₂ /m ²	(11)
	Distribution of base paper	200 km	0.742 kg-CO ₂ /km	(11)
		0.757 kg/box		
	Distribution of FB	100 km	0.362 kg-CO ₂ /km	(11)
		0.87 m ² /box		
			0.536 kg-CO ₂ /box	
		Parameter	CO ₂ emission factor	Source
PC	Producing and Distribution of PC	2.0 kg/box	0.298 kg-CO ₂ /kg	(11)
			0.595 kg-CO ₂ /box	
		Parameter	CO ₂ emission factor	Source
NDC (L)	Sleeve	5.47 m ² /box	1.051 kg-CO ₂ /m ²	
	linerboard	1.34 kg/m ²	0.442 kg-CO ₂ /kg	(11)(15)
	Inner sheet	0.739 kg/m ²	0.478 kg-CO ₂ /kg	(11)(15)
	Producing FB		0.063 kg-CO ₂ /m ²	(11)(15)
	Distribution of base paper	200 km	0.742 kg-CO ₂ /km	(11)
		11.2 kg/box		
	Distribution of FB	100 km	0.362 kg-CO ₂ /km	(11)
		5.47 m ² /box		
	Pallet	13.2 kg	4.57 kg-CO ₂ /kg	(12)(13)(14)
	Lid	6.9 kg	4.57 kg-CO ₂ /kg	(12)(13)(14)
Film	0.479 kg	4.53 kg-CO ₂ /kg	(13)(14)	
			3.38 kg-CO ₂ /box	
		Parameter	CO ₂ emission factor	Source
NDC (S)	Sleeve	3.64 m ² /box	1.051 kg-CO ₂ /m ²	
	linerboard	1.34 kg/m ²	0.442 kg-CO ₂ /kg	(11)(15)
	Inner sheet	0.739 kg/m ²	0.478 kg-CO ₂ /kg	(11)(15)
	Producing FB		0.063 kg-CO ₂ /m ²	(11)(15)
	Distribution of base paper	200 km	0.742 kg-CO ₂ /km	(11)
		7.46 kg/box		
	Distribution of FB	100 km	0.362 kg-CO ₂ /km	(11)
		3.64 m ² /box		
	Pallet	13.2 kg	4.57 kg-CO ₂ /kg	(12)(13)(14)
	Lid	6.9 kg	4.57 kg-CO ₂ /kg	(12)(13)(14)
Film	0.334 kg	4.53 kg-CO ₂ /kg	(13)(14)	
			2.62 kg-CO ₂ /box	

⁹ FB is fiberboard, PC is plastic container, NDC (L) is newly developed container (Large), NDC (S) is newly developed container (Small)

た。パレット及び上ぶたの質量はそれぞれ13.2および6.9 kg、スリーブの質量は、新規コンテナ (大) および新規コンテナ (小) で、それぞれ2.1および1.2 kg、内容量は新規コンテナ (大) および新規コンテナ (小) で、それぞれ368および184 kgとした。また、容器の汚染を防止するため、プラスチックフィルム (無延伸PP) を容器内に敷くことを想定した。新規コンテナ製造の解析に用いたパラメータとCO₂排出係数をTable 1に示す。パレットと上ぶたのCO₂排出係数は、原料の採掘¹²⁾、PPの製造¹²⁾、ブロー成形¹³⁾の各インベントリデータの合計より、1.97 kg-CO₂/kgを用いた。プラスチックフィルムの加工に関わるCO₂排出係数は、1.93 kg-CO₂/kgを用いた¹³⁾。プラスチックの廃棄に伴うCO₂排出量は、2.6 kg-CO₂/kg¹⁴⁾を用いた。

また、スリーブ 1 kg 当たりの製造時に発生するCO₂量は、王子インターパック（株）が算出した段ボール（スリーブ）のCO₂排出量¹⁵⁾より決定した。すなわち、ライナ製造のCO₂排出係数は、単位質量あたりのCO₂排出係数¹¹⁾に単位面積当たりのライナの質量 (=1.34 kg/m²) を、中しん製造のCO₂排出係数は、単位質量あたりのCO₂排出係数¹¹⁾に単位面積当たりのライナの質量 (=0.739 kg/m²) を乗じることにより求め、それぞれ0.592¹⁵⁾および0.353 kg-CO₂/m²¹⁵⁾とした。段ボール製造のCO₂排出係数は0.063 kg-CO₂/m³¹¹⁾を用いた。さらに、原紙輸送（200 km）および段ボール輸送（100 km）に伴うCO₂排出も考慮し、スリーブのCO₂排出係数 1.051 kg-CO₂/m³を決定した。なお、スリーブとプラスチック（パレット及び上ぶた）の耐用回数はそれぞれ 20 および 100 回とし、プラスチックフィルムは輸送ごとに廃棄することとした。

2.4 青果物の流通プロセス

解析に用いたトラックの走行条件を Fig. 5 に示す。トラックの輸送は10tトラックで行い、青果物の出荷地から市場までの総距離は560 kmとし、うち高速道路の走行距離を500 km、一般道路走行距離を60 kmと仮定した。ダイコン輸送のトラック積載率および燃料消費率を Table 2 に示す。往路の積載率は100%とし、復路の積載率は各輸送容器の折たたみ時の容積に応じて変動させた。往路の輸送1回あたりの各輸送容器の個数は、段ボール、小型コンテナ、新規コンテナ（大）および新規コンテナ（小）で、それぞれ911個、588個、25個および48個となる。段ボール箱は実際の青果物流通過程においてワンウェイで利用さ

れるため、段ボール箱利用輸送の輸送距離は片道のみ560 kmと仮定した。小型コンテナおよび新規コンテナ利用輸送の輸送距離は、輸送容器返却も考慮して往復1120 kmにコンテナ回収場所である物流センターまでの往復距離30 kmの合計1150 kmとした。本来であれば、容器返却時において輸送容器以外の荷物との按分を考慮する必要があるが、帰りのコンテナの積載率はその時々状況によって大きく変動するため、本研究における帰りの輸送時においては最もCO₂排出量が多い輸送体系、すなわち、コンテナ輸送のみを仮定することとした。10 tトラックの燃費は異なる積載率による燃料消費量のデータ¹⁶⁾を用いた。流通プロセスにおける燃料消費量の値は、軽油のCO₂排出係数 (=2.62 kg-CO₂/L) を乗じることによりCO₂排出量 [kg-CO₂] に換算した。

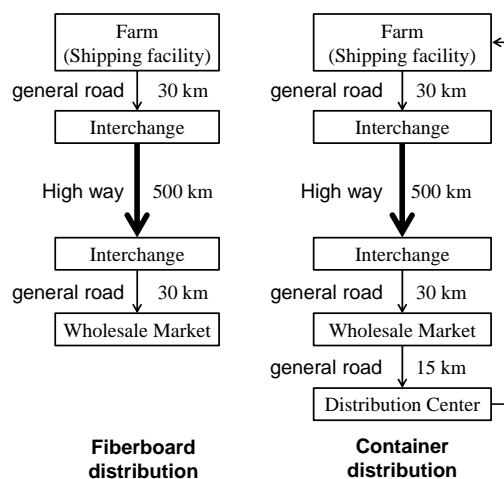


Fig. 5 Driving condition of truck

2.5 トラックの輸送距離および耐用回数変動の影響

ワンウェイで使用される段ボール箱に対し、新規コンテナは繰り返し利用を想定している。その

Table 2 Loading ratio and fuel consumption ratio of truck for radish distribution

		FB	PC	NDC (L)	NDC (S)
Outward	Lading ratio [%]	100	100	100	100
	Fuel consumption ratio [L/km]	0.364	0.364	0.364	0.364
Homeward	Lading ratio [%]	-	14.6	43.5	41.8
	Fuel consumption ratio [L/km]	-	0.235	0.311	0.309

* FB is fiberboard box, PC is plastic container, NDC (L) is newly developed container (Large size), NDC (S) is newly developed container (Small size)

ため、復路の輸送距離が増加すると、新規コンテナの総CO₂排出量が段ボール箱使用のCO₂排出量と比べて大きくなる可能性がある。また、リユース容器の利用において耐用回数が低下すると、繰り返し利用によるCO₂排出量削減効果が減少する可能性がある。そのため、トラックの輸送距離および新規コンテナにおけるスリーブとプラスチック（パレットおよび上ぶた）の耐用回数が各輸送容器の総CO₂排出量に及ぼす影響について感度分析を行った。すなわち、新規コンテナ製造の解析に用いたパラメータとCO₂排出係数は前述と同じ値を用い、トラックの輸送距離および新規コンテナにおけるスリーブとプラスチック（パレットおよび上ぶた）の耐用回数を変動させ、総CO₂排出量 [g-CO₂/kg]を算出した。トラックの輸送距離は100 km～1500 km、新規コンテナにおけるスリーブとプラスチックの耐用回数は、5回～40回および25回～200回とそれぞれ設定した。

3. 結果および考察

3.1 青果物の流通プロセス

Fig. 6 に異なる出荷容器利用によるダイコン輸送のCO₂排出量の比較を示す。図より、段ボール箱輸送の総CO₂排出量 (112 g-CO₂/kg) が最も大きく、次いで小型コンテナ (113 g-CO₂/kg)、新規コンテナ (小) (77 g-CO₂/kg)、新規コンテナ (大) (69 g-CO₂/kg) の順となった。また、段ボ

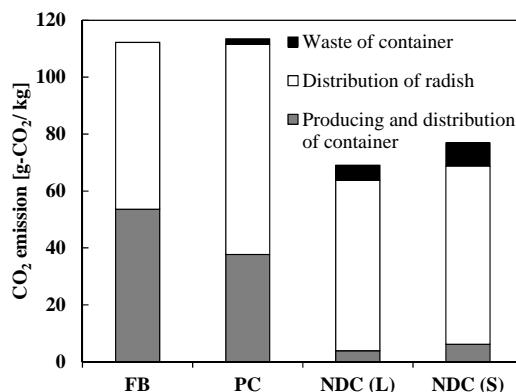


Fig. 6 Comparison of CO₂ emission among radish distribution process using corrugated fiberboard box, plastic container and newly developed container

FB is fiberboard box, PC is plastic container, NDC (L) is newly developed container (Large), NDC (S) is newly developed container (Small)

ール箱と比較した新規コンテナ (大) のCO₂削減率は38%となった。ダイコン物流において段ボール箱と小型コンテナではCO₂排出量はほぼ同程度となったが、レタス物流におけるCO₂排出量は、段ボール箱の方が小型コンテナと比べて小さくなるという報告もある¹¹⁾。このことから、CO₂排出量は青果物の種類によっても異なる可能性があるため、今後は他の青果物輸送についても解析対象を広げ、最適輸送容器の選定に必要なデータの整備が求められる。一方、各出荷容器とも、容器製造・輸送、青果物流通、容器の廃棄の各プロ

セスのうち、青果物流通段階のCO₂排出量が最も多くなった。特に、新規コンテナでは青果物流通段階のCO₂排出量が総CO₂排出量の8割～9割を占める結果となった。これは、新規コンテナ容器の大型化により輸送1回あたりの容器必要個数が少なくなり、新規コンテナ製造時におけるCO₂排出量が減少したことが原因である。また、新規コンテナの繰り返し利用による輸送1回当たりの実質CO₂排出量の減少と、返送時における、新規コンテナの折りたたみによる体積減少に伴う復路の輸送効率の向上も総CO₂排出量の減少に寄与したと考えられる。逆に、段ボール箱および小型コンテナでは、容器製造・輸送段階のCO₂排出量が総CO₂排出量の3割～5割程度を占めた。これは、段ボール箱および小型コンテナの容量が新規コンテナと比較して少ないため、より多くの容器を必要とすることに起因する。段ボール箱と小型コンテナで比較すると、総CO₂排出量は両者間でほとんど差は見られなかったが、小型コンテナ製造に伴うCO₂排出量は、段ボール箱製造に伴うCO₂排出量と比べて30%小さい値であった。それに対して、新規コンテナ製造に伴うCO₂排出量は、段ボール箱のそれと比べて90%程度小さい値となったことから、小型コンテナにおいても繰り返し利用に伴うCO₂排出量削減効果が確認されたものの、新規コンテナほどの削減効果は期待されなことが分かった。一方、青果物流通プロセス（容器返送を含む）で比較すると、小型コンテナの総CO₂排出量は段ボール箱のそれと比較して26%大きい値となった。これは、小型コンテナの復路の輸送に伴うCO₂排出が原因である。長距離輸送となればなるほど、返送時における復路のCO₂排出

量が増大するため、輸送距離が長い条件においては、小型コンテナ輸送よりも段ボール箱輸送の方が総CO₂排出量が少なくなる可能性が考えられる。この影響については、次章（3.2 輸送距離変動の影響）で言及する。また、容器の廃棄に伴うCO₂排出量は、新規コンテナで最も高い値となったが、最も多い新規コンテナ（小）においても総CO₂排出量の11%程度であり、プラスチックフィルムを含む容器の廃棄に伴うCO₂排出量の影響を考慮しても、新規コンテナの総CO₂排出量が最も小さくなることが示された。

3.2 輸送距離変動の影響

容器製造・輸送、青果物流通、容器の廃棄、の各プロセスのCO₂排出量が総CO₂排出量に及ぼす影響について検討した。Fig. 6より、段ボール箱および小型コンテナは、容器製造・輸送段階の影響はある程度大きいものの、青果物流通（容器返送を含む）の影響が最も大きい結果となり、新規コンテナは、青果物流通のCO₂排出量が全体の約8割を占める結果となった。この結果は、輸送距離によって総CO₂排出量が大きく変動することを示している。そこで、ダイコン輸送における輸送距離が総CO₂排出量に及ぼす影響を検討した。ダイコン輸送における輸送距離と総CO₂排出量の関係をFig. 7に示す。図より、各輸送容器において、輸送距離の増加に伴い総CO₂排出量が増加する結果となった。ダイコン輸送においては輸送距離が600 kmから小型コンテナの総CO₂排出量が段ボール箱のそれを上回る値となった。これは、小型コンテナは繰り返し利用のために、復路のCO₂排出量が輸送段階の16%を占めているのに対し、段

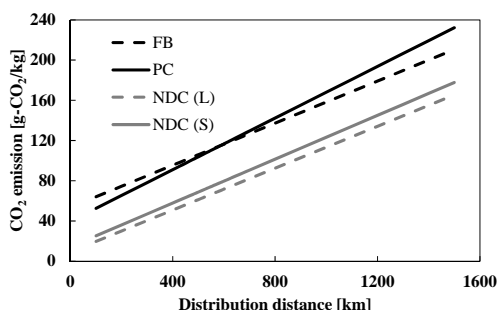


Fig. 7 Relationship between distribution distance and CO₂ emission of radish distribution process
 FB is fiberboard box, PC is plastic container,
 NDC (L) is newly developed container (Large),
 NDC (S) is newly developed container (Small)

ボール箱は復路の輸送時におけるCO₂排出量を考慮しないで良いためである。小型コンテナは復路の輸送時におけるCO₂排出量の影響が、輸送距離の増加に伴って増大したため、600 km以上の距離を境に総CO₂排出量が逆転したと考えられる。これより、長距離輸送の場合、小型コンテナよりも段ボール箱輸送の方が総CO₂排出量は少なくなることが示された。新規コンテナ輸送については、輸送距離が増加すると総CO₂排出量は増加するものの、段ボール箱および小型コンテナの総CO₂排出量よりも低い値で推移した。これは、新規コンテナ輸送は小型コンテナ輸送と同様、繰り返し利用のために復路のCO₂排出量が増加するものの、復路のCO₂排出量が総CO₂排出量に占める割合が全体の1%程度と少なく、輸送距離が増加しても復路のCO₂排出量がほとんど増加しないためである。また、新規コンテナの折りたたみによる体積減少に伴う復路の輸送効率の向上も、総CO₂排出量が低い値で推移した原因の一つとなる。一方、輸送距離が小さくなるに伴い、小型コンテナおよ

び新規コンテナの総CO₂排出量の差が小さくなる傾向を示した。これは、輸送距離が小さくなると青果物流通（容器返送を含む）に関わるCO₂排出量が減少し、相対的に容器の廃棄および容器の製造に関わるCO₂排出量の影響が増大するためである。以上より、ダイコン流通において新規コンテナを用いることにより、大幅にCO₂排出量を削減する効果があり、特に輸送距離が長くなるほどその効果は大となることが示された。

3.3 耐用回数変動の影響

Fig. 8に、新規コンテナにおける段ボールとプラスチックの耐用回数が総CO₂排出量に及ぼす影響を示した。なお、図中の実線は後述するモデル式による計算値である。段ボールの耐用回数が増加すると、総CO₂排出量は曲線的に減少する傾向を示し、プラスチックの耐用回数が大きいほど、総CO₂排出量は小さくなる傾向が得られた。耐用回数と総CO₂排出量 E [g-CO₂/kg] との関係は、次式で示される。

$$E = E_F / L_F + E_P / L_P + E_S + E_D \quad (1)$$

ここで、 E_F は段ボールのCO₂排出量 [g-CO₂/kg]、 E_P はプラスチックのCO₂排出量 [g-CO₂/kg]、 E_S は消耗品のCO₂排出量 [g-CO₂/kg]、 E_D は輸送に関わるCO₂排出量 [g-CO₂/kg]、 L_F は段ボールの耐用回数 [回]、 L_P はプラスチックの耐用回数 [回] をそれぞれ表す。式(1)においてプラスチックの耐用回数を固定した場合、式中の2項目以降は定数となり、段ボールの耐用回数と E との関係式は、反比例式となる。Fig. 8のデータに累乗近似式を当てはめたところ、いずれも決定係数 (R^2) は

新規バルクコンテナを利用したダイコン流通
プロセスにおけるCO₂排出量削減の可能性

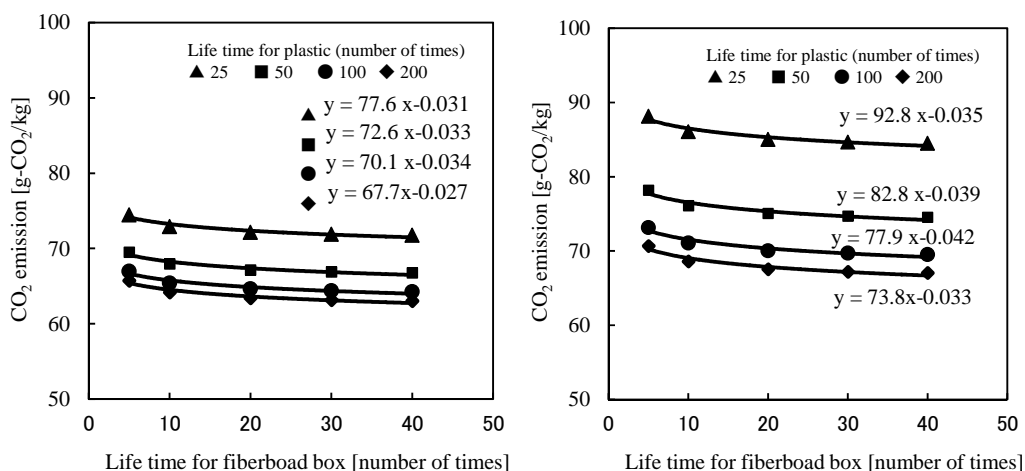


Fig. 8 Relationship between lifetime for fiberboard box part of newly developed container and CO₂ emission

A is newly developed container (Large), B is newly developed container (Small). y of regression equations mean CO₂ emission, x of regression equations mean life time for fiberboard box.

0.97であり、理論と良く一致した。このことから、新規コンテナの耐用回数とCO₂排出量の関係は式(1)により表され、同式を用いることにより、段ボールおよびプラスチックの耐用回数を変動させた場合の総CO₂排出量を予測できることを示した。

一方、前述のとおり、段ボール箱利用の場合、および小型コンテナ利用で耐用回数を100回とした場合の総CO₂排出量は、112および113 g-CO₂/kgとそれぞれ試算される (Fig. 6)。この値を基に、新規コンテナ利用によるCO₂削減率を算出したところ、段ボール箱使用に対して、新規コンテナ (小) で18~38%、新規コンテナ (大) で30~41%とそれぞれ算出された。また、小型コンテナ使用に対しての削減率は、新規コンテナ (小) で17~37%、新規コンテナ (大) で30~42%となった。新規コンテナのスリーブおよびプラスチックの耐用回数がベースケース (それぞれ25回および100回)

より大となった場合、段ボール箱および小型コンテナと比較してCO₂削減効果が増加することが示された。新規コンテナの耐用回数を向上させることにより、更なるCO₂排出量の削減が期待される。大型コンテナの青果物生産現場への導入に当たっては、出荷ロットの確保に加えて、技術的課題として、充填作業の簡易・効率化が必要であり、充填後の機械荷役 (圃場ではフォーク付きトラクター、その他の場所ではフォークリフト荷役) が不可欠である。充填作業に関しては、スリーブ高さの調節や前開き型のスリーブの使用により課題の解決が可能である。後者については、導入の前提条件となる一方で、小型容器の人手による積み卸しと比べて、機械荷役による大幅な効率化が実現されることから、導入が大きなメリットにつながる。消費地の市場や物流センターにおいては、フォークリフトの使用は一般的となっており、到着時の荷卸しについては問題なく、導入による荷

扱いの効率化が可能である。一方、小売り向けの小分け作業や最終ユーザーにおける青果物の取り出し作業に関しては、前述のスリーブ高さの調節や前開き型スリーブの利用などにより作業の簡易・効率化が可能である。

4. 結論

本研究では、出荷容器として段ボール箱に替えて、小型コンテナおよび新規コンテナをダイコン流通に利用した場合の、温室効果ガス排出量の削減効果について検討した。その結果、既存の段ボール箱による流通方式に替えて、新規コンテナによる物流を導入することにより、大幅にCO₂排出量を削減する効果が示された。これは、輸送の大型化に伴い同一輸送量に対する新規コンテナの容器製造時におけるCO₂排出量が段ボール箱のそれと比べて小さいことが主要な要因である。また、各容器において、青果物輸送段階において最も多くのCO₂を排出しており、青果物流通全体のCO₂排出量削減を効果的に進めるためには、低環境負荷の輸送容器の開発だけではなく、モーダルシフトなど、輸送プロセスの効率化を併せて検討する必要がある。さらに、新規コンテナのCO₂排出量は耐用回数に応じて変動することから、コンテナの耐久性を向上させることと共に、コンテナの紛失率を低く抑えることも重要と考えられる。今後は、実輸送データを取得しつつ、他の青果物輸送についても解析対象を広げ、わが国における青果物流通全体のCO₂排出量削減効果について検討する必要がある。さらに、青果物生産も考慮し、包装条件による青果物の品質劣化・ロスを介したCO₂排出への影響についても調査する必要がある。

5. 謝辞

本研究は、農林水産省新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「コスト・環境負荷同時低減のためのバルクコンテナ物流技術の開発」(2014)により行われました。ここに記して謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 農林水産省、平成18年食品流通構造調査(青果物調査)結果の概要—青果物の業種別仕入量・流通経路の状況—(農林水産省、東京)(2007年)、
http://www.maff.go.jp/tokei/kouhyou/syokuhin_kouzou/index.html (2014年3月17日)
- 2) 吉川直樹、天野耕二、島田幸司、環境システム研究論文集、34、245-252 (2006)
- 3) 松本輝雄、“農産物流通技術2009”(岩元睦夫編)、農産物流通技術研究会、p.69-74 (2009)
- 4) 農林水産省、食料供給コスト削減アクションプラン (2006年)、
http://www.maff.go.jp/j/study/syoku_cost/pdf/plan01.pdf (2014年3月17日)
- 5) 通い容器普及促進協議会、通い容器の本格的な普及に向けて(提言) (2007年)、
http://www.maff.go.jp/press/shokusan/ryutu/pdf/070927_1a.pdf (2014年3月17日)
- 6) 椎名武夫、農業機械学会誌、75、62-66 (2013)
- 7) 椎名武夫、中村宣貴、兼田朋子、M. Thammawong、農産物流通技術研究会会報、294、18-20 (2013)
- 8) 兼田朋子、中村宣貴、タンマウォン マナスイカン、曾我綾香、吉田誠、新實誉也、横山

幸一、椎名武夫、日本食品保蔵科学会誌、39、
67-74 (2013)

- 9) 兼田朋子、中村宣貴、タンマウオン マナス
イカン、北澤裕明、曾我綾香、吉田誠、福島
崇志、中野浩平、椎名武夫、日本食品保蔵科
学会誌、39、255-261 (2013)
- 10) 梶川崇、山川肇、第19回廃棄物学会研究発表
会講演論文集、197-199 (2008)
- 11) 全国段ボール工業組合連合会、段ボールとプ
ラコンの比較資料 (2009年)、
http://www.rengo.co.jp/environment/img/pdf/shiryo_1.pdf, (2014年3月17日)
- 12) プラスチック処理促進協会、石油化学製品の
LCI データ調査報告書、83 (2009)
- 13) プラスチック処理促進協会、樹脂加工におけ
るインベントリデータ調査報告書、65-68
(2000)
- 14) 環境省、平成14年度温室効果ガス排出量算定
方法検討会廃棄物分科会報告書 (pp.69-71)
(2007年)、
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1408/haikibutsu.pdf> (2014年3月17日)
- 15) 王子インターパック (株) 技術本部、ハイプ
ルエースのCO₂排出量 (2008年11月4日技
術本部資料)、1-3 (2008)
- 16) 経済産業省：経済産業省告示第六十六号、
(2006年)、
<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/data/060327c-14.pdf> (2014年3月17日)

(原稿受付 2014年4月17日)

(審査受理 2014年6月26日)

新規バルクコンテナを利用したダイコン流通
プロセスにおける CO₂ 排出量削減の可能性

新規バルクコンテナを利用したダイコン流通
プロセスにおける CO₂ 排出量削減の可能性

