

物流システムにおける輸送容器の効率的運用に関する検討

—パレットプールシステムの有効性の検証—

Consideration on the methods that repeatedly re-use standardized pallets in a physical distribution network



増田悦夫：流通経済大学 流通情報学部 教授

略 歴

1977年3月電通大修士修了。同年4月日本電子電話公社（現在NTT）入社。2002年3月NTT退職。同年4月より現職。日本物流学会・電子情報通信学会などの会員。

[要約] 物流システムにおける輸送容器の効率的運用に関する検討を行った。輸送容器の代表例として、コンテナ、パレット、食品クレートなどが知られているが、それらの中で特にパレットを取り上げ、パレット運用方法として知られているPPS（パレットプールシステム、専用のレンタル業者がサプライチェーン業者にパレットを貸し出しあるいは使用済みパレットを回収し一括管理する方式）の有効性を、SD（システムダイナミクス）ツールを用いた特性評価を通して明らかにした。さらに今後に向けての課題も示した。

キーワード 物流システム、循環型、輸送容器、パレット、パレットプールシステム、PPS、シミュレーション、動的特性

1. まえがき

物流システムには、物の輸送や配送などに鉄道・海上コンテナ、パレット、食品クレートなど種々の容器が利用されている。これらの輸配送容器（以下、“輸送容器”で統一）は、環境への配慮などから、輸送や配送などに利用された後、廃棄されずに回収され繰り返し利用されるものが多い。即ち、これらの輸送容器を循環型輸送容器と呼ぶことができる。

これらの輸送容器については、サプライ

チェーンなどにおける作業効率の向上、物流コストの削減、環境への配慮などの観点から、サイズや形状、材質などについての規格化や関連業者間での運用方法の検討などが、当該分野の専門家や担当業者などの間で、積極的に進められてきている。特に、コンテナ、パレット、食品クレートは複数業者間での効率的な取扱いを可能とする観点から規格化あるいはそのための検討が積極的に行われている(1)～(5)。また、それらを用いた運用方法についても、種々の検討が行われている。例えば、規格化された容器を自社で所有するのかレンタルして用いるのか、自社で個別利用するのか複数業者間で共同利用するのか、などである。

本論文では、物流システムにおける輸送容器として、各種のシステムに幅広く利用されているパレットを取り上げ、特にその効率的運用に関する検討を行う。類似の研究として、文献(6)では、広域物流システムにおいて繁忙期のパレット不足を回送によって回避するシステムの構築に関する検討を行っている。文献(7)では、使用済みのレンタルパレットを効率良く回収するトラック配車に関する実証実験の状況を示している。文献(8)では、ビール・酒類業界における標準パレットの共同利用の取り組み事例を紹介している。また、文献(9)では、標準化された食品クレートを扱う循環型物流システムの運用法について洗浄機の性能とクレートの配備数の観点から検討している。本論文では、現在利用されているパレットの基本的な運用方法について、システムダイナミクス(SD)ツール(PS Studio、Power Sim社(10))によるシミュレーションにより動的特性を明らかにし、その結果に基づき比較考察を行う。

第2章では、循環型輸送容器の代表例としてコンテナ、パレット、食品クレートを取り上げ、それぞれの概要と運用例を示す。特にパレットの運用方法として、第3章での評価対象である2つの方式、即ち、PPS(パレットプールシステム)方式と従来の非PPS方式について示す。続く、第3章では、PPS(即ち、専用のレンタル業者がサプライチェーン業者にパレットを貸し出しあるいは使用済みパレットを回収し一括管理する方式)と非PPS(即ち、各社がパレットを所有し、配送・回収を各社個別に管理する方式)を取り

上げ、SDツールにより両運用方式の基本的な特性を明らかにする。その結果を用いて、PPS方式の有効性を示す。第4章では今後に向けての発展的考察を示す。第5章で全体をまとめる。

2. 代表的な輸送容器とその運用例

物を運ぶ容器は扱う荷物のサイズや形状、運ぶ際の環境などの違いから多様なものが開発され使用されている。その中で、複数業者間で効率良く扱えるように規格化され利用されている代表的なものとして、コンテナ、パレット、食品クレートなどがある。本章では、まず、これらについて簡単に紹介する。

2.1 コンテナ

(1) 概要

コンテナは規格化された箱型をしたもので、その中に貨物や荷物を積み込み、トラック、鉄道、船舶、航空機などに載せられて輸送される(図2.1)。

国内はいうまでもなく、グローバル化時代の国際的な輸送において欠くことのできない

図2.1 コンテナと各種輸送手段



輸送容器となっている。容量、サイズなど種類は非常に多い。コンテナを輸送する車両などの違いから、鉄道貨物コンテナ、海上輸送コンテナ、航空貨物用コンテナなどと呼ばれることがある。

(2) 運用例

図 2.2 に日本通運が提供している鉄道コンテナ輸送の例を示す。これは、モーダルシフトによる環境配慮を狙いにしたサービスであり、長距離の幹線部分を鉄道で輸送し両端の集荷部分と配達部分とをトラックにより輸送する複合型の一貫輸送サービスである。小口貨物向けの 6 フィートから 31 フィート（注：10t トラックと同程度）までの通常のコンテナに加え、その他当社が開発した特殊コンテナも利用できるようになっている。

鉄道駅にはコンテナプール（図示略）が配備されており、そこでトラックへの / からの積み下ろしが行われる。コンテナの再利用は

集荷・配達の拠点で行われる。

図 2.3 は、輸出入時の運用例である。海上コンテナの再利用の効率化を図ったもので、「コンテナのラウンドユース」などとも呼ばれる。輸入に使用した海上コンテナはコンテナヤードに一旦保管され、その後トラックにて物流拠点まで輸送され、そこで開梱（デバンニング）され、着荷主へ届けられる。空になったコンテナをそのままコンテナヤードの方へ返却する代わりに、輸出用コンテナとして再利用する。即ち、空コンテナを輸出側の物流拠点へ運び、そこで荷物の積み込み（バンニング）を行い、輸出用に再利用する。

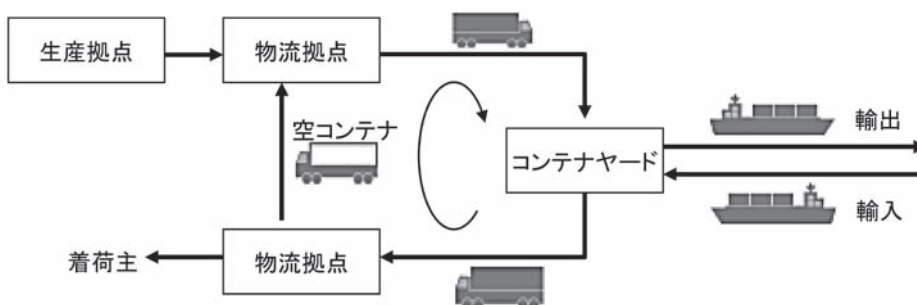
ラウンドユース以前は、輸入用コンテナのコンテナヤードまでの返却や輸出用コンテナの準備のためにコンテナヤードから空コンテナの輸送が必要であった。空コンテナ輸送の工程を減らし環境への影響の少ない効率良いトラック輸送が可能となる。

図2.2 鉄道コンテナ輸送の例



<http://www.nittsu.co.jp/rail/shikumi.html>

図2.3 コンテナのラウンドユース(コンテナの再利用)



2.2 パレット

(1) 概要

パレットは、荷物の保管、構内作業、輸配送に使われる荷役台のことであり容器とは呼びにくいですが、本論文では荷物を効率よく運ぶために使用するための機器ということでコンテナなどと同様の目的を持っているため輸送容器として扱うことにする。

図2.4 パレット及び操作機器の例



パレットは、物流に関する各業務において複数の荷物を効率よく扱うことが可能である。また、工場などでの構内作業、倉庫などへの荷物の保管、トラックやコンテナでの輸配送を連続的に行なえるようにすることもできる。パレットは人手では直接扱えないため、

保管や運搬などの際に、ハンドリフトやフォークリフトなどの専用機器を使用する(図2.4)。図2.4に示すパレットは規格化されたサイズの代表的なものであるが、実際には1000種類程度と極めて多くのパレットが利用されている。材質も複数あるが、木製、樹脂(プラスチック)製、金属製、ダンボール製などに分けられる。

(2) 運用例

パレットの運用形態として、必要とする個々の業者が所有し当該業者に閉じて管理・利用する形態、サプライチェーン上の複数業者間で共同利用する形態に分けられる。特に、共同利用する場合は、規格化されたパレットの運用が条件となるが、パレットを管理する主体として、サプライチェーン上の個々の業者、一部の業者、さらにはサプライチェーン上のモノの流れに直接関与しない第三の業者(レンタル業者など)が集中管理する、などの形態が存在する。パレットの効率的運用を考える上でのひとつの課題は使用済みパレットを如何に効率良く回収するかである。

図2.5に従来のパレット運用形態を示す。

図2.5 従来のパレット運用形態

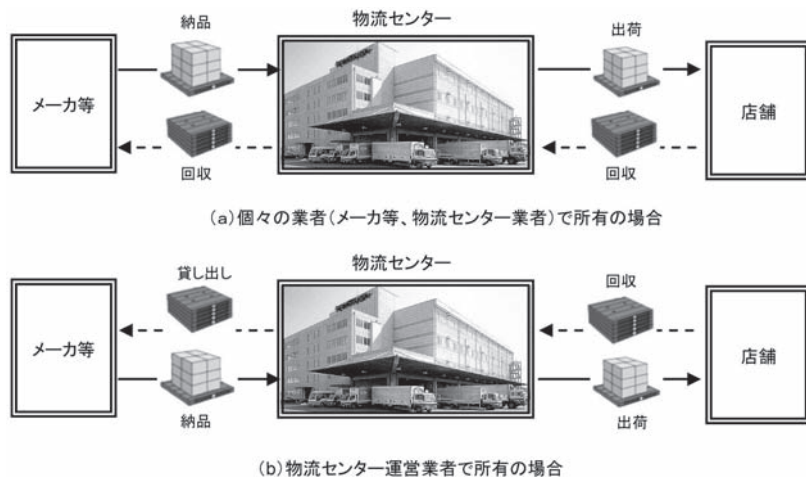
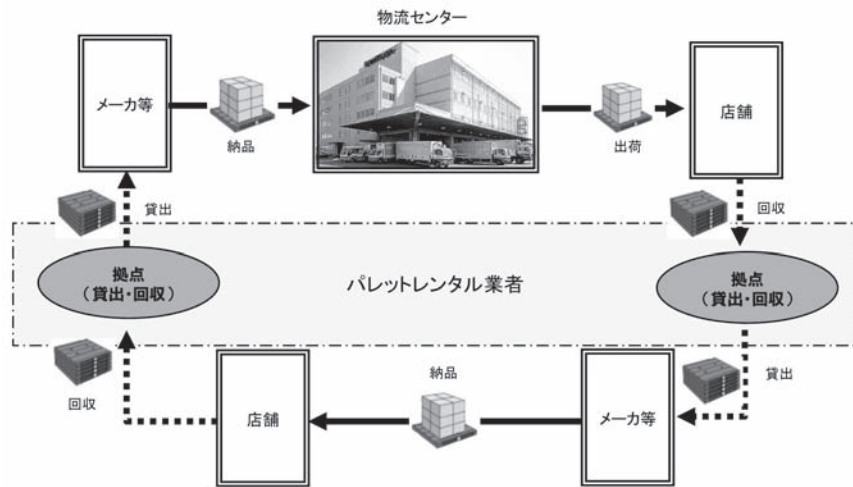


図2.6 パレットプールシステム(PPS)による運用



同図 (a) は個々の業者 (即ち、メーカー等、物流センター運業者) が所有し管理する場合の例である。納入や出荷に用いたパレットは、当該業者が固有の方法で使用済みパレットを回収することになる。同図 (b) は物流センター運業者が所有し管理する場合の例である。メーカー等は、物流センターから借用したパレットにてセンターへの納入を行い、一方センターは出荷先の店舗から使用済みパレットを回収する。従来の形態では、出荷や納入に使用した距離と同じだけ空パレットを運ばなければならない。

これを改善した方式が、図2.6に示すパレットプールシステム (PPS) と呼ばれる運用形態である。パレットは専用のレンタル業者によって管理される。レンタル業者は、パレットを貸し出したり、回収したりする複数の拠点 (デポ) をサプライチェーン上の業者の近くに設置し、業者への空パレットの貸し出しや業者からの使用済みパレットの回収を当該業者の最寄の拠点で行うような形態である。この運用形態では、図2.6に示すように、パレットの貸し出し (レンタル業者) →使用

(メーカー等～センタ) →使用 (センタ～店舗) →回収 (レンタル業者) →貸し出し (レンタル業者) →使用 (メーカー等～店舗) →回収 (レンタル業者) というようにパレットが流れ、複数の貸出・回収拠点を近くにうまく設置すればするほど効率的な運用が可能になると考えられる。なお、パレットレンタル業者としては、国内では JPR (日本パレットレンタル) や NPP (日本パレットプール) などが知られている。

PPS 方式の有効性については第3章で具体的に考察する。

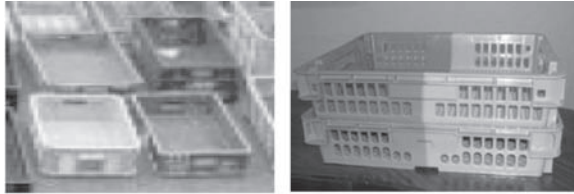
2.3 食品クレート

(1) 概要

食品クレートは、メーカ、小売センタ、スーパー・小売店舗間で食品配送に利用されるプラスチック製の容器である。サイズや材質など規格がばらばらで極端に多くの種類が存在する (図2.7の左図)。日配食品だけで500種類近くにも上るとの調査がある (表2.1) (5)。対策として、日本スーパーマーケット協会と日本チェーンストア協会により、2007年4月に標準クレート (図2.7の右図) が規

定された(4)。それ以降、標準化されたクレートを扱うシステムの運用法に関する検討が活発に進められている。

図2.7 従来の種々のクレート(左)と規格されたクレート(右)



出所:物流クレート標準化協議会

表2.1 クレーンの種類の調査例

豆腐	84種類	} 497種類
油揚げ	58種類	
こんにゃく	51種類	
漬物	56種類	
麺	66種類	
ヨーグルト・プリン	182種類	

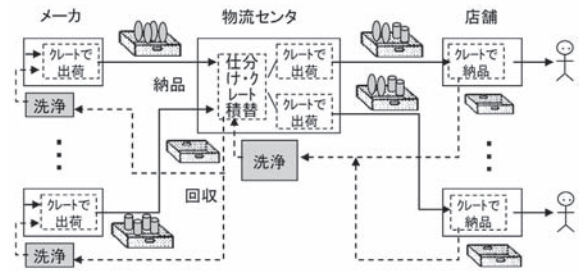
日本スーパーマーケット協会調査 (39社)

(2) 運用例

図2.8に規格化された食品クレートを繰り返し使用する物流システムの一例を示す。各食品メーカーから出荷される食品等はクレートに入れられ物流センターに集められる。当該センターにおいて小売店舗毎に仕分けされ出荷用クレートへ積み替えられ、目的の店舗へ届けられる。この例ではクレート洗浄機が各食品メーカー及び物流センターに設置されており、食品メーカーから物流センターへの納品に使われたクレートは出荷した食品メーカーへ回収される(破線)。同様に各店舗への納品に使われたクレートは各店舗から物流センターへ回収される(破線)。それぞれの回収先で洗浄され再使用される。なお、物流センターにおいて、クレート間での積み替えを行う理由は、異なる食品メーカーから届けられた異なる食品を各店舗向けクレートに混在させて詰め込むためである。

る。食品クレートでは、衛生面への配慮から回収の都度洗浄が必要となるといった特徴がある。回収の効率化を考慮し、パレット同様のプールシステムの運用が行われつつある。

図2.8 規格化されたクレートを使用する物流システムの一例



3. パレット運用方式の比較評価

本章では、循環型輸送容器として特にパレットを取り上げ、メーカー→物流センター→小売店舗といった流通のサプライチェーンにおける2つのパレット運用方式、即ち、PPS方式(案A)と非PPS方式(案B)について、SDツールによるシミュレーションを行い、その結果により案Aの有効性を明らかにする。

【案A】PPS方式、即ち、専門のレンタル業者から借りたものをサプライチェーン上の複数業者間で共同利用する方式

【案B】非PPS方式、即ち、個々の業者が自前のパレットを所有し個別利用する方式

3.1 方式案の概要

各案の方式イメージを図3.1に示す。それぞれの流れについて具体的に説明する。

(1) PPS方式

パレットはレンタル業者が集中して管理し、サプライチェーン上のメーカー、物流センター、店舗がレンタルパレットを借用し共同利用する形態である。図には明示されていない

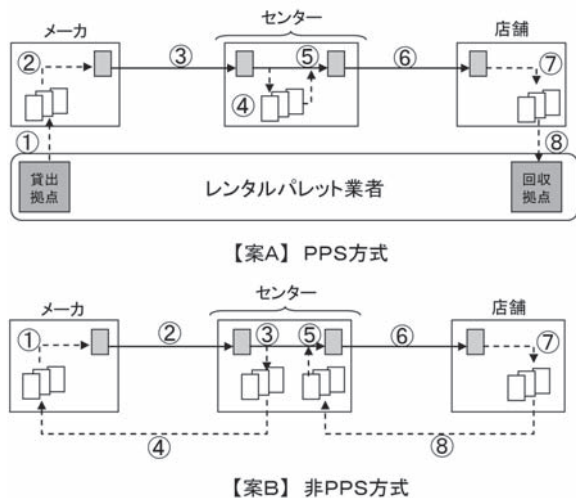
いが、運用開始時点にはメーカ、センターのそれぞれの箇所に必要な数のパレットが初期配備されているものとする。この状態で図の番号順に、パレットの業務が流れていく。まず、①メーカは定期的に最寄りの貸出拠点よりパレットを借用する。②センターからの受注に応じて、借用のパレットを利用してセンターへ出荷する荷物を積み込む。③センターへ向けて出荷する。④センターではパレットによる納入を受け、店舗への仕分け、積替え出荷のためにパレットを空ける。⑤店舗毎出荷のためにパレットに荷物を積み込む。⑥そのパレットを店舗へ向けて出荷する。⑦店舗では納入後、パレットを空にして回収の引き取りのために一時保管する。⑧レンタル業者は保管されている空パレットを定期的に回収する。

②メーカはセンターへ向けて出荷する。
③センターはパレットの納入を受け、店舗への仕分け、積替えのためにパレットを空ける。
④メーカは定期的にセンター内の空パレットを回収する。一方、⑤センターでは、店舗へのお荷のために荷物を空パレットへ積み込む。⑥店舗へ向けて出荷する。⑦納入されたパレットは回収のために空ける。⑧センターは店舗に保管されている空パレットを定期的に回収する。

(3) 両方式の違い

図 3.1 や以上の説明からも分かるように、空パレットの待機のし方に違いがある。PPS ではメーカでの受注待ち、センターでの受注待ち、店舗での回収待ちとなるが、非 PPS ではセンターでの回収待ち部分が余計に必要となっている。

図3.1 比較対象のパレット運用方式案



(2) 非PPS方式

PPS方式と同様に、運用に必要なパレット数がメーカ、物流センター、店舗のそれぞれに初期配備されているものとする。この状態で、まず、①メーカはセンターからの受注に応じて出荷用の荷物を空パレットへ積み込

3.2 評価方法

シミュレーションにて各方式の動的特性を評価する場合の評価方法として、評価モデル、評価項目、シミュレーション条件について説明する。

(1) 評価モデル

両方式の評価モデルを図 3.2 に示す。今回の評価では簡単のために、需要は個々の商品ベースでなく、それを載せるパレットを単位として行うこととする。

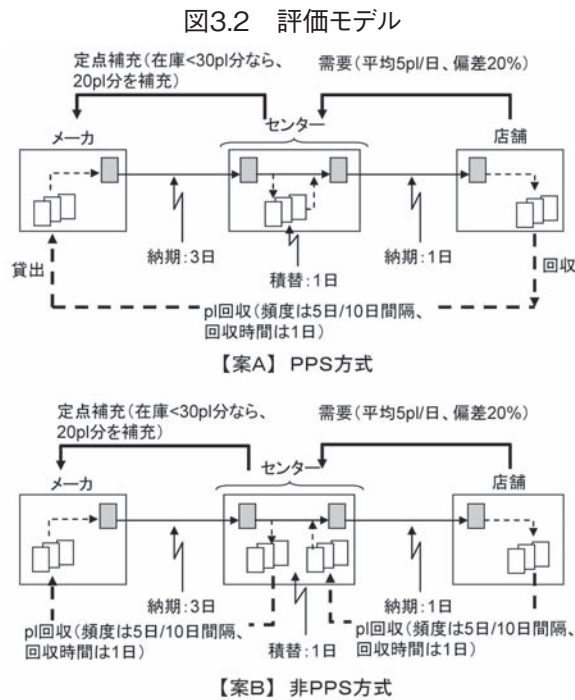
①需要およびリードタイムの条件

店舗への需要は平均 5pl/日（1日あたり 5パレット）、標準偏差 $5pl \times 0.2 = 1pl$ の正規分布に従うとした。また、メーカからセンターへの補充は、毎日 1 回在庫状況をチェックし 30pl 未満になった場合、20pl 分を補充する

ものとした。センターから店舗への納期は1日、センター内での積替え納期も1日、メーカーからセンターへの補充の納期は3日とした。

②回収の条件

回収の頻度をパラメータとし、10日間隔、5日間隔の2ケースを評価することとした。回収に要する時間は1日とした。また、PPS方式については、店舗からの回収の完了と同時に同数のパレットがメーカーへ貸し出されるものとした。



③パレットの初期配備数

{PPS方式、非PPS方式} × {10日毎回収、5日毎回収} の4ケースについて、パレットの品切れを起こさないぎりぎりの数を初期配備した。この初期配備数がシステム内に存在する総パレット数となる。

(2) 評価項目

パレットの品切れを起こさない状態で運用した時にシステム内に必要となる「総パレ

ット数」を評価する。前述したように、空パレットの回収頻度をパラメータとし、10日毎に回収、5日毎に回収の2ケースを評価する。

(3) シミュレーションの条件

①シミュレーションの時間単位は1日とし、2か月間についての定常特性（即ち、需要の平均と偏差は変動しない）を評価する。

②SDモデル PPSモデルと非PPSモデルのSDツール（PS Studio）による実装例を付録に示す。

3.3 評価結果と考察

2か月間についてシミュレーションした場合の評価結果の概要を表3.1（回収間隔が10日の場合）および表3.2（回収間隔が5日の場合）に示す。また、10日毎回収の場合における案Aおよび案Bの回収待ちパレット数

表3.1 シミュレーション結果(10日毎の回収)

項目	案A:pps方式	案B:非PPS方式
メーカーからセンターへの補充回数	13回	13回
使用済みパレットの回収回数	店舗から:6回	センターから:6回 店舗から:6回
品切れを回避できる初期配備数	店舗内	0
	センター内	店舗向け:20 メーカー納入:40
	メーカー内	55
システム内総パレット数	115	160
回収待ちパレット数(累積):図3.3	1528 (店舗内)	2992 (センター内、店舗内)

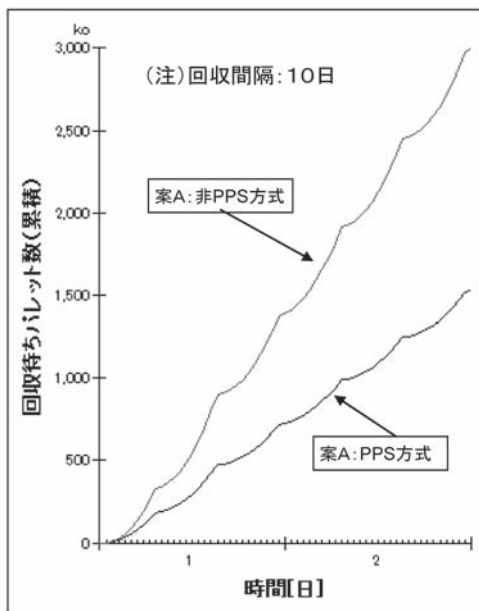
表3.2 シミュレーション結果(5日毎の回収)

項目	案A:pps方式	案B:非PPS方式
メーカーからセンターへの補充回数	13回	13回
使用済みパレットの回収回数	店舗から:12回	センターから:12回 店舗から:12回
品切れを回避できる初期配備数	店舗内	0
	センター内	店舗向け:20 メーカー納入:35
	メーカー内	35
システム内総パレット数	90	115
回収待ちパレット数	838 (店舗内)	1666 (センター内、店舗内)

(累積) を図 3.3 に示す。更に、各案におけるパレット数の各所における時間変動の状況を図 3.4 ~ 図 3.6 に示す。

表 3.1、表 3.2 より、メーカからセンターへの補充回数は、パレット回収の間隔の違い(10日、5日)に関わらず13回で同一である。これは、どちらの回収間隔のケースにおいても、需要が一定で、補充のアルゴリズムやリードタイムが共通であり、かつ補充の際にメーカ内の在庫において品切れが発生しないように初期配備数を調整しているからである。

図3.3 回収待ちパレット数(累積)の比較



使用済みパレットの回収回数は、2カ月間のシミュレーションであることから、10日毎の回収の場合で6回、5日毎の回収の場合に倍の12回となっている。

パレットの初期配備数は、2か月間のシミュレーションにおいて、システム内のいずれの箇所においても品切れが発生しないように、かつできるだけ少なくなるように調整した結果である。システム内の各所における初期配備数の総和が循環して運用されるパレ

ットのシステム内総数となる。いずれの回収間隔においても、システム内パレットの総数は、案AのPPS方式が非PPS方式に比較し少

図3.4 各所におけるパレット数の日変動(案A)

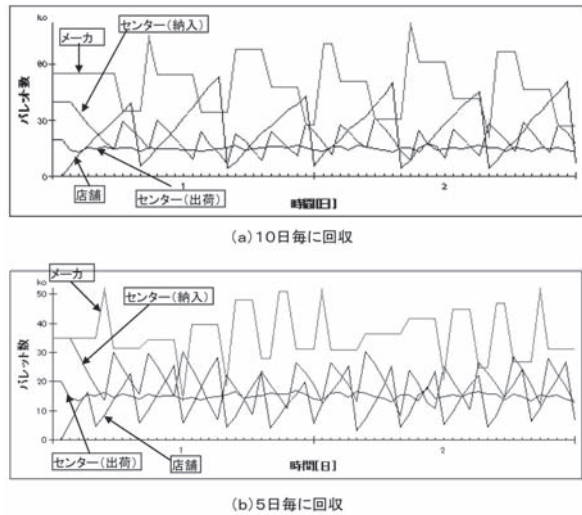


図3.5 各所におけるパレット数の日変動(案B)

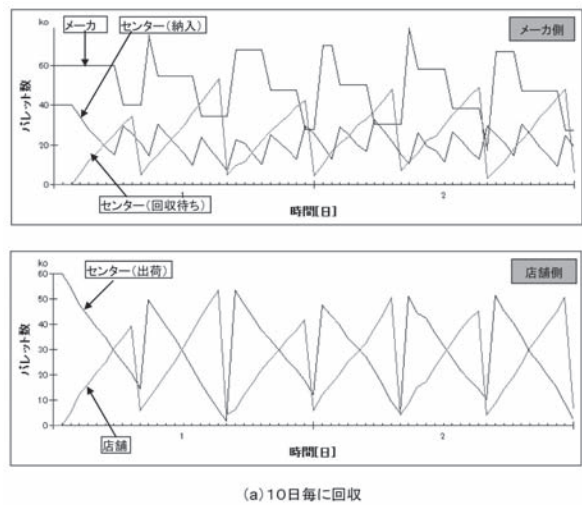
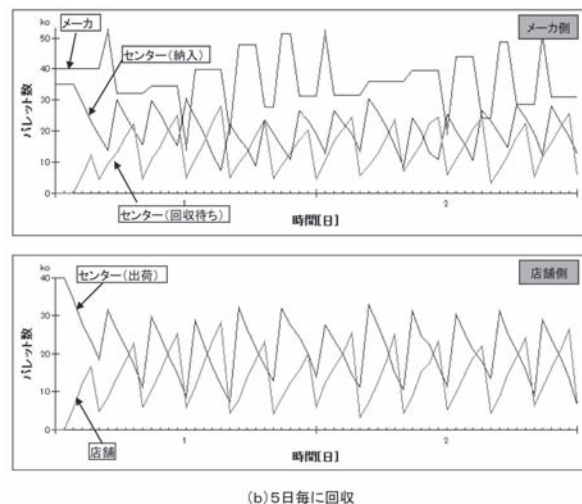


図3.6 各所におけるパレット数の日変動(案B)



なくなっており効率的であることが分かる。

当然のことながら、回収間隔を小さくするほどシステム内パレットの総数を少なくすることが可能である。案Aの場合、115枚（10日毎の回収）に対して90枚（5日毎の回収）、案Bでは160枚（10日毎の回収）に対し115枚（5日毎の回収）に減少する。なお、今回は、回収の際の距離は考慮せず、いずれの案においても回収日から1日をかけて回収するという条件で評価を行った。1日より短い時間で回収するような場合は両案で距離の違いも考慮した評価が必要になると考えられる。これは今後の課題である。

回収待ちパレット数の（シミュレーション期間に亘っての）累積は、案Aにおいては店舗内にたまっている使用済みパレット数の累積であり、案Bではセンター内、店舗内のそれぞれにたまっている使用済みパレット数の総和の累積である。表3.1、表3.2、図3.3に示すように、非PPS方式では回収箇所が2箇所に分かれていることによる分割ロスが生じており、ほぼ倍近い値となっている。案AのPPS方式が望ましいと言える。

4. 今後に向けての発展的考察

コンテナ、パレット、食品クレートなどに代表される輸送容器は、複数業者間での共同利用が可能のように規格化され、使用されていない状態のものは共通プール化され一括管理される方式が効率面で望ましく今後の普及が期待される。パレットやクレートなどを共通プール化するシステムの普及に当たって、回収や貸し出しを行う拠点をどこにどれだけ

設置するかが効率を左右し得る。共同利用に参加する業者の数とも関連する。

共通プールシステムの効果を高めるためには参加業者が増えることが望ましい。業者が増えてくるとシステム全体に出回る輸送容器の数も増加していく。輸送容器自体、資産であり、システム規模の増加に応じて、できるだけ精度の高い評価が求められる。今回は、メーカ（工場）数や店舗数などは陽には意識せず、メーカ数:センター数:店舗数=1:1:1の条件で評価を行った。より現実近づけ精度を上げるためには空間的な広がりも考慮に入れた評価を行う必要があるだろう。例えば、回収・貸し出し拠点とメーカ・店舗との間の距離も考慮に入れた評価などである。

また、今回は、需要がシミュレーション期間において一定である、即ち、定常状態におけるシステムの動的特性を評価した。実際には年間を通して需要の変動や供給能力の変動が起こり得る。空間的に広がった店舗間、メーカ間での違いもある。このような状況の下で、空間的に広がりを持つサプライチェーン上の効率的なフローの実現とともに使用済み輸送容器を回収する効率的なリバースフローの流れをうまく両立させる方式の検討も求められよう。

5. むすび

以上、本論文では、物流システムにおける輸送容器の効率的運用に関する検討を行った。輸送容器の代表例として、コンテナ、パレット、食品クレートなど知られているが、その中で特にパレットを取り上げ、2つの基

本的な運用方式の特性比較を行った。具体的には、現在パレットの運用方法として知られている P P S (パレットプールシステム、専用のレンタル業者がサプライチェーン業者にパレットを貸し出しあるいは使用済みパレットを回収し一括管理する方式) の、従来の運用方式 (非 P P S 方式、各社がパレットを所有し、配送・回収の管理を行う方式) に対する有効性を、S D (システムダイナミクス) ツールを用いた特性評価を通して明らかにした。即ち、サプライチェーン上のフローに必要なパレットを関連業者がレンタル会社より借用し共同利用することにより、システム内に必要となる総パレット数をより少なくできることを示した。

- (8) [ビール+酒類業界] 業界独自の標準パレット共同使用、課題の回収強化へ取り組み進む、マテリアルフロー 53(10)、p p. 24-28、2012年10月.
- (9) 包海権, 増田悦夫: クレート循環型物流システムの運用に関する基礎検討, 日本物流学会誌, 第17号, No. 17, pp.81-88, 2009年5月.
- (10) Powersim Software 社、<http://www.powersim.com/>.

参考文献・サイト

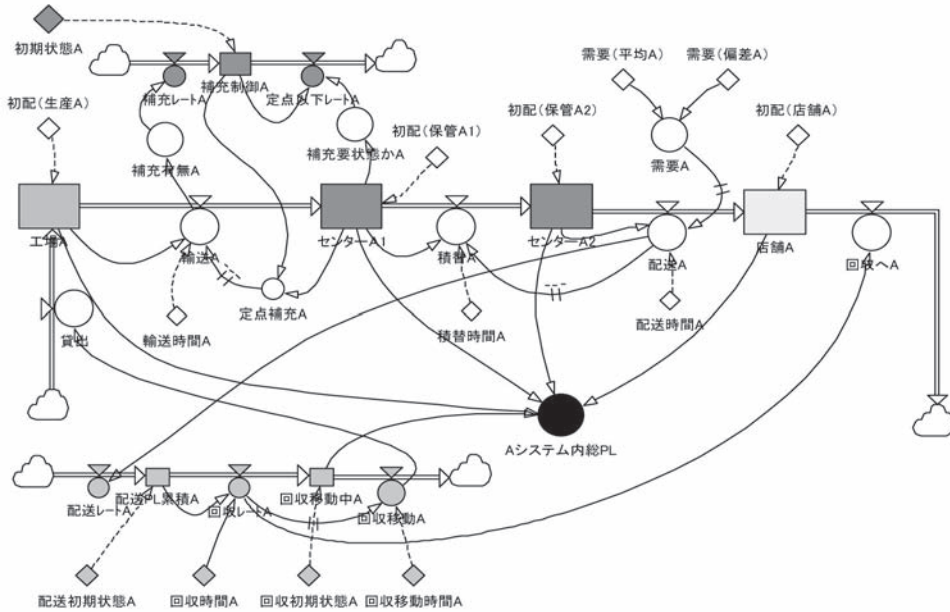
- (1) 国土技術政策総合研究所研究資料 (国総研資料)、No. 478、2009年2月17日、<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryuu/tnn/tnn0478pdf/ks047804.pdf>
- (2) 東アジアのパレット規格について (特集 東アジアのパレットの標準化)、流通ネットワークキング、19-25、2012-05 .
- (3) 福本 博二、田中 正躬: 標準化温故知新ー日本における標準化と適合性評価の歴史 (第6回)ー産業のインフラとなる物流: パレットの標準化、標準化と品質管理 661、pp.76-82、2013-01.
- (4) 「標準物流クレート規格の決定」のお知らせ、http://www.jsa-net.gr.jp/pdf/20070425_butsuryu.pdf.
- (5) 物流クレート標準化協議会: 食品クレート標準共有化ガイドライン (Ver.1.0)、平成20年4月25日、http://www.jsa-net.gr.jp/pdf/20080425_guide.pdf.
- (6) 島田孝徳: 広域物流におけるパレット回送計画システム、IPJS SIG Notes、Vol.95、No.111 (19951117)、pp.. 7-12.
- (7) UHF 帯 RFID タグ・リーダーを利用した空レンタルパレット回収のトラック配車効率化事業、平成18年度経済産業省グリーン物流パートナーシップモデル事業、<http://www.greenpartnership.jp/pdf/proposal/back/h18/h18proposal.pdf>.

[付録]

PPSモデルと非PPSモデルのPS Studio (Power Sim 社) による実装例

今回の評価用に実装したもの(注:10日毎に回収のケース)を付図1、付図2に示す。

付図1 PPSモデル(PS Studio)



付図2 非PPSモデル(PS Studio)

