

宅配業務における仕分作業とレイアウト構築の効率化に関する研究

○奥津 規矢 山本 学 寺野 隆雄 (東京工業大学)

A study on efficiency of sorting operation and layout planning under the delivery service.

* N. Okutsu, G. Yamamoto and T. Terano (Tokyo Institute of Technology)

Abstract - This study which is based on the real data of arrival distribution and some constraint proposes the method of how to decide the performance requirements in the truck terminal system of the transportation company. In our proposed method, we make calculation method that can figure out the number of conveyor needed, by considering the required resources, such as arrival distribution and sorting. Then, based on the real data from the truck terminal, we examine the robustness of the calculation method. As a result, at a certain truck terminal, we discovered that even with a two less conveyors, operation can be conducted as normal.

Key Words: logistics, performance requirements

1. はじめに

1.1. 背景

近年、電子商取引市場の拡大などにより、国内において取引される物流量は年々増加し¹⁾、物流量増加に伴うニーズの多様化・高度化に対し、各企業は輸送の小口化・多頻度化やジャストインタイム輸送などの新たなサービスを提供することで対応を行っている。さらに、景気の後退などの影響により、大口顧客に対する個当たりコストの減少や運賃低下の要請の高まりから、各工程での効率化・低コスト化が強く求められている^{2) 3)}。

1.2. 物流システムについて

Fig. 1 は、本研究において対象とする物流企業における、実際の宅配業務の流れを示している。

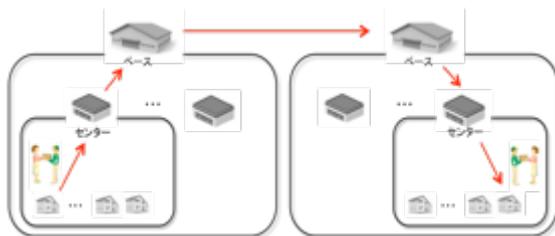


Fig.1: 宅配業務の流れ

例として、あるユーザーAがユーザーBのもとへ荷物を送る場合を想定する。まず、ユーザーAの荷物は、直接もしくはコンビニなどを通して、最寄りのセンター(全国約5800カ所)へと届けられる。その後、荷物は各都道府県単位で展開されているベース(全国約70カ所)へと移動し、ベース間を経由した後、ユーザーBの住む地域を管轄するセンターへと送られ、最終的にユーザーBのもとへ荷物が届けられる仕組みになっている。また、センターを離れた後は、全ての荷物はFig. 2のようにボックスと呼ばれる入れ物で管理されベース間を移動する。



Fig.2: ボックスの外観

そして、センターやベースにおいて、荷物が到着した後は、移動・情報入力・仕分け・積み込み・積替え・発送といった複数の工程が同時発生する。本研究で対象とする物流企業では、1日に3便の取り扱いを行っているが、ここでは一番物量の多い午前便における業務内容を時間に沿ってFig.3に示す。

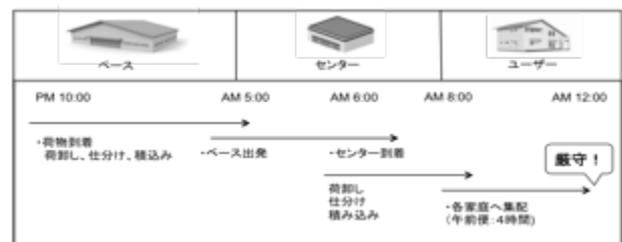


Fig.3: 業務フロー

午前便の時間帯指定を行っているユーザーに対して荷物を届ける為には、前日の午後10:00からベースでの作業が始まる。全国各地から到着した荷物の荷卸しを順次行い、その後、仕分け・積み込みといった工程へと進む。そして、仕分け済みのボックスが発送待機場所に一定数溜まり、センターでの業務を開始する午前5:00付近になると、ベースから管轄内への各センターにボックスが発送される。そして、到着したボックスは、センターでも同様に荷卸しを行った後、仕分け・積み込みの工程を経て、準備が整った地域から順番にセンターを出発し、各家庭へと集配が行なわれる。ここで、午前便の時間帯指定ユーザーへの集配を厳守する為には、時間を遡ってベ

ース内での作業を時間内に完了させる必要があることがわかる。

1.3. ベース内作業について

では、実際のベース内作業について、Fig.4 に示す実在するベース構内の見取り図をもとに説明する。ただし、Fig.4 において、構内レイアウトは施設内を横断するコンベアを基準に、上下対称の形となっているため、ここでは上下の差異はないものとして、片側のみの説明を行うものとする。

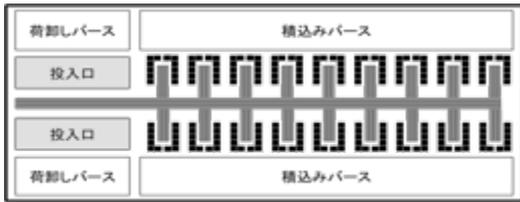


Fig.4: ベース構内の見取り図

まず、到着したトラックのリアドアを荷卸しベースにつけ、ボックスを卸す(Fig.5)。荷卸しが完了したボックスは、投入口が空いている場合には、投入口まで移動し人の手でコンベア上に荷物を投入していく。投入口が空いていない場合は、荷卸しベースにて投入口が空くまで待機する。コンベアに投入された荷物は、自動もしくは手動によって仕分けされ(Fig.6)、宛先別に分かれたシューターと呼ばれる仕分け場所へと搬送される(Fig.7)。シューターに搬送された荷物は、人の手により各ボックスへと仕分けされ、ボックス内に一定数の荷物が溜まったら、積み込みベースへ搬送される。そして、ベースにてトラックの準備が整っている場合には、ボックスはトラックへと積み込みが行われ、それ以外の場合は発送されるまで待機となる(Fig.8)。



Fig.5: 荷卸し作業



Fig.6: 自動仕分け



Fig.7: シューター風景



Fig.8: 積み込みベース

1.4. ベースでの問題点と対応策

先に記したように、近年では電子商取引市場の拡大に伴うサービス水準向上のため、扱う物量のなか

で当日便の割合が増加傾向にある。このことは、ベース間輸送において、以前では途中のベースを中継するはずの荷物が、直接輸送されるケースが増えてきている事を示す⁴⁾。その為、最近では中継するベースを通じて事前に到着見込みの物量を知ることが少なくなり、その日にトラックを開けるまでは、処理すべき荷物量がどの程度あるのか正確にわからないという問題が発生している。この事態は、ベース内での仕分け作業やセンターでの集配に大きな影響を与え、最終的に時間帯指定の対応不備による顧客満足度低下や、不在者対応へのコスト増加といった負の連鎖へとつながる。

現状これらの対応策としては、到着物量の予測精度の向上と到着物量に対するベース内処理のロバスト性の向上が考えられる。しかし、予測精度の向上に関して、現状では前年同曜日のデータを基にした予測をたてているが、物流量が年々増加している昨今、その結果は芳しくない。また、ベース内処理のロバスト性の向上については、そもそも現在ベースの処理能力を定量的に評価するための明確な手法は確立されておらず、ヒアリングを行った結果、現状では以下のような手順に則り、評価・設計が行われていることがわかった。

- ① 取り扱う総到着物量を予測
 - ② ①の結果から必要なコンベア本数と償却年数を算出
 - ③ コンベアの整流化を考慮したレイアウト設計
- ここで問題となるのは、上記①にあるように、到着の分布ではなく、総到着物量に基づいた資源の割出しが行われていることである。それが原因となり、コンベアの本数が適切な値になっておらず、物量を時間内に捌けないと考えられる。

以上のような背景から、ベースの処理能力を求めらるにあたって、経験則ではない定量的な評価手法、特に到着物量分布をもとにした評価手法の確立が必要とされる。

1.5. 本研究の目的

前述のように、到着物量分布を基にしたベース内での処理能力を定量的に評価する手法が確立されると、適切なコストの見積もりが可能となり、今後新たにベースを展開する際や、管轄地域を跨いだベースの統廃合を検討する際の意思決定に役立ち、さら

に到着物量分布のコントロールへフィードバックが行えると考えられる。

そこで本研究では、宅配業務における仕分けに特化した施設において、その機能と実データをもとにベースの処理能力を定量的に評価する手法を提案し、その結果として効率的なレイアウトを導くことを目的とする。

2. 関連研究

2.1. SLP (Systematic Layout Planning)

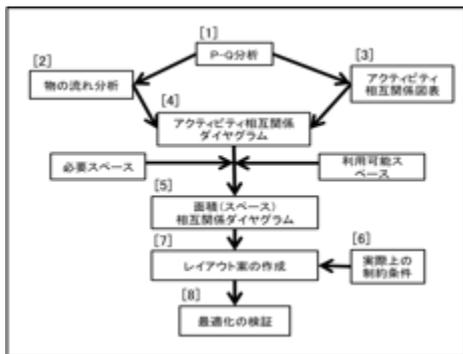


Fig.9: SLP の手順

代表的なレイアウト設計手法の1つに、生産工学における SLP が挙げられる。その具体的な手順を Fig.9 に示す。SLP は工場内のレイアウト設計方法であり、生産品の種類数や物の流れ、加工・組み立てといった作業工程順序の相互関係をもとに、必要な面積を割出し、レイアウト案を作成する流れとなっている。しかし、今回想定する宅配業務における工程数は少なく、取り扱う荷物に性質的な差異はないと捉える為、この方法は適さないと考えている。

2.2. FlexSim

レイアウト設計・評価を行うことが可能な、離散イベントシミュレーターに FlexSim⁵⁾がある。このソフトは GUI により比較的容易に操作が可能であり、新設物流センターにおけるロケーションや要員の最適配置の立案、既存物流センターの業務評価の策定などに利用できる。しかし、FlexSim では能力の値やレイアウトが事前に与えられた場合のシステム評価に対して効果を発揮するが、本研究の目的である手法の提案を行うためのツールではないため、提案した手法の妥当性検証に使用が可能であると考ええる。

3. 問題設定

本研究で対象とするシステムと得られるデータを

以下のように設定する。

- 本研究では、ベース内での荷卸しから発送までの一連の作業を対象としたシステムを構築し、それぞれの状態を時間毎に区切り、離散変化モデルとして扱う。
- レイアウト設計について、本研究では現在標準的に使用されている Fig.4 での荷卸しベース・積み込みベース・投入口・コンベア・シューターの位置は固定とし、それらの大きさ(面積)について現状よりも効率的な値を求めるものとする。
- 対象となる物量は、以下の2パターンとする。
 - 他ベースからの荷物を他ベースへと中継する場合
 - 他ベースからの荷物を管轄内の営業所へと搬送する場合
- 到着ボックス分布と発送ボックス分布のデータは、1分単位で取得可能とする。
- 前回と今回の便で積み込みベースに滞留し未発送な物量を、それぞれ前回便残留物量、次回便繰越物量とする(Fig.10 参照)。
- 発送物流に関して、実際の現場でのオペレーションに則り、トラックがボックスを積んで発車する場合は、以下2つの条件のどちらかまたは両方を満たした場合とする。
 - トラックにボックスが積みまれ、満杯になった場合。
 - トラックは満杯ではないが、目的地への時間を考慮して発車する場合。

よって、今回考えるモデルにおいては、発送物量をコントロールすることはできないものとし、条件を満たしたら即時発送を行うものとする。

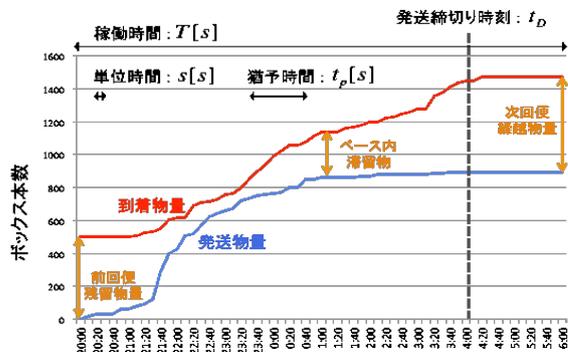


Fig.10: 累積到着・発送ボックス数の時間推移の例

- 以下に Fig.10 をもとに、必要となる値を定義し、それぞれの設定値を Table1 に示す。

- $T[min]$: 稼働時間（発送の開始時刻から到着の終了時刻まで）。
- $s[min]$: 単位時間
- $N_E[step]$: 最終ステップ（稼働時間を単位時間で割ったもの）。
- $t_D[min]$: 発送締切り時刻。実際のオペレーションに則り、発送締切り時刻を過ぎて到着した荷物に関しては、強制的に次回便へと繰り越す。
- $N_D[step]$: 発送締切りステップ数。発送締切り時間を単位時間で割ったもの。
- $t_p[min]$: 猶予時間。サービス品質保持のため、荷物が到着してから仕分けが完了するまでに猶予する最大の時間。
- $N_p[step]$: 発送猶予ステップ数。猶予時間を単位時間で割ったものを。つまり、 N ステップ目までに到着した物量は、 $N + N_p$ ステップ目までに仕分けしなければならない。

Table1: 設定値

値	設定値
T : 稼働時間	600 [min]
s : 単位時間	10 [min]
N_E : 最終ステップ数	60 [step]
t_D : 発送締切り時間	480 [hour]
N_D : 発送締切りステップ数	48 [step] ($N_D = \frac{t_D}{s}$)

4. 提案手法

以下では、実在する物流施設を対象とし、そのデータを用いるものとする。

提案手法の全体像は Fig.11 のようになる。

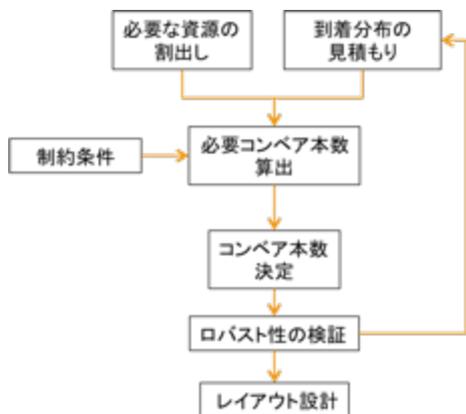


Fig.11: 提案手法の流れ

まず、ベース内作業における必要な資源の割出しと到着分布の見積もりを行う。これをもとに、ベースの処理能力測定に重要な値としてのコンベア本数の算出方法を作成し、猶予ステップ数と発送締切り時刻を考慮することでコンベア本数の割出しを行う。そして、求めたコンベアの本数におけるシステムのロバスト性を検証し、必要であれば到着分布へのフィードバックを行う。最後に、コンベア本数から求まる荷卸し・積込みバースでのボックス数をもとに、それぞれの必要な面積を求めて、レイアウトの設計を行う。

4.1. 必要な資源の割出し

ベース内作業を5つの機能に分解し、それぞれに必要な資源を割り出したものを Table2 に示す。

Table2: 資源の割り出し

機能	必要な資源
荷卸し	荷卸しバース（面積）、作業員
移動	面積、作業員
仕分け	コンベア、シューター、作業員
待機	面積
積込み	積込みバース（面積）、作業員

ここで、作業員数について考える。まず、荷卸しに関して、トラックからボックスを卸すのは、現実のオペレーションに則るとトラック運転手が担当するため、ベース内での作業員は必要ないと考える。

仕分け作業における作業員数は、1つのシューター作業に必要な作業員の平均人数と必要なシューター数で求めることができる。また、荷卸し作業に関しては荷物の搬送を担当するトラック運転手が荷卸しを行い、積込みに関しては必要な投入口数から人数は求まるため、作業員は他3つの値によって一意に決まると考える。

以上より必要な資源は、面積・コンベア・シューターの3つに集約されるとする。

4.2. 到着分布の見積もり

Fig.12 は実在するベースにおける到着物流分布を例として示したものである。横軸にステップ数、縦軸に到着ボックス数を示す。グラフから、このベースにおいては中盤と終盤における2つの波が存在することがわかる。

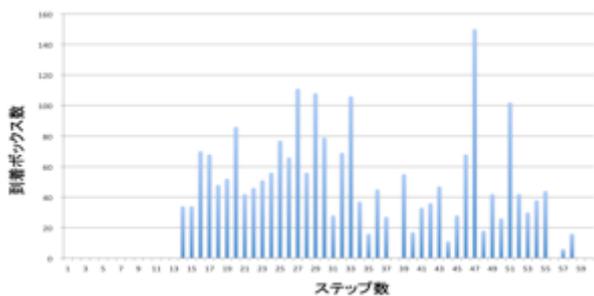


Fig.12: 到着物量分布の例

4.3. コンベア本数算出方法の導出

4.3.1. イベント毎に作業を分解

ベース内作業を Fig.13 のように 3 つに分解する。

1. 荷卸しバースで待機しているボックスを投入口まで運ぶ
2. 投入口にてボックス内の荷物を投入し、コンベアによって各シューターにて、それぞれの行き先のボックスへ仕分け
3. 仕分けされたボックスを積込みバースまで運ぶ

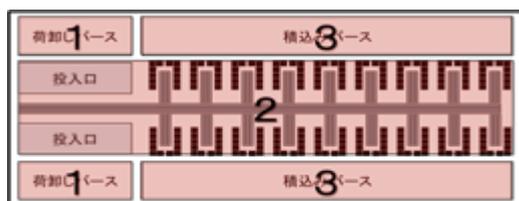


Fig.13: ベース内作業の分解

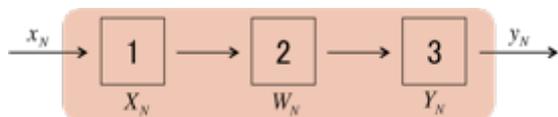


Fig.14: モデル化されたベース内作業

さらに、分解したそれぞれの作業においてそれぞれ状態量を追加したイメージを Fig.14 に示し、その定義を Table3 に示す。

Table3: 状態量の定義

状態量	定義
X_N	N ステップ目終了時の荷卸しバースにおける残留ボックス数 [box]
x_N	N ステップ目に荷卸しバースに到着するボックス数 [box]
W_N	N ステップ目に仕分け可能な最大ボックス数 [box]
Y_N	N ステップ目終了時の積込みバースにおける残留ボックス数 [box]
y_N	N ステップ目に積込みバースにて発送されるボックス数 [box]

4.3.2. 状態量の定式化

・ x_N について

Fig.12 のように実際の分布のデータから N ステップ目における到着物量を取得する。

・ W_N について

Fig.13 の 2 のコンベアによって仕分けされる部分を、Fig.15 のように (投入、搬送、分類) の 3 つにさらに分解し定式化を行う。

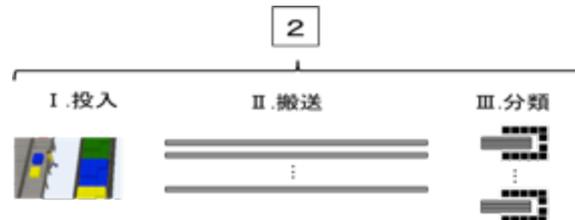


Fig.15: 仕分け機能の分解

I. 投入に関して

1 ステップで到着物量を捌くのに必要な投入口の数 n_{iN} とおくと、到着物量 x_N を用いて(1)式となる。(以下、[]はガウス記号を表す)

$$n_{iN} = \left[\frac{x_N}{a} \right] + 1 \quad (1)$$

II. 搬送に関して

N ステップ目に必要なコンベアの本数を n_{cN} とおくと、コンベア速度、荷物の投入間隔を用いて、(2)式のようにあらわされる。

$$n_{cN} = \left[\frac{kx_N}{sv\mu} \right] + 1 \quad (2)$$

III. 分類に関して

1 ステップで 1 つのシューターが仕分けするボックスの数を n_{sN} とおくと、(3)式のようにあらわされる。

$$n_{sN} = \left[\frac{x_N}{b} \right] + 1 \quad (3)$$

(1)~(3)式におけるそれぞれの値を Table4 に示す。この値は、実際に現場でヒアリングを行ったものをもとに設定している。

ちなみに、コンベアの速度について、現状では自動と手動のもの 2 つ存在する。自動の場合は、荷物がコンベアに投入されたあとは、途中にあるセンサによって荷物に貼付けられている伝票が読み取られ、自動でシューターまで仕分けされる際のコンベアの速度を示している。それに対して、手動の場合の値は、仕分けする荷物が割れ物であるか、もしくはある一定の大きさ (幅 50cm×高さ 100cm) 以上

の際には自動仕分けすることができない為、自動より遅いスピードでコンベア上を流れ、作業員の手によってシューターまで引き込む場合の速度を示している。実際の現場では、手動の場合と自動の場合でそれぞれ異なったコンベアを割り当てているが、今回はこの違いに関しては特に区別せず、平均となる値を採用することにする。

Table 4: 定数の定義

定数	定義
a	投入口から投入されるボックス数 [box/input port]
b	シューターで仕分けされるボックス数 [box/shooter]
v	コンベアの数 [m/min]
μ	シューターで投入される荷物の間隔 [個/m]
k	1ボックス当たりの荷物の個数 [個/box]

(1)~(3)式における3つのパラメータのうち、仕分けに最も影響するのは、コンベア本数である。なぜなら、Fig.15において示したように、今回考えるモデルは、サービス品質を保つ為に、 N_D 、 N_P といった時間制約を設けているため、投入数が多くともシューターまで運ばなければ仕分けは完了せず、処理能力は評価できない。また同様に、いかにシューター作業にて分類するボックス数が多くとも、荷物がコンベアによって搬送されなければ処理能力は評価できない。

よって、 N ステップ目に仕分け可能なボックス数 W_N は、 N ステップ目に必要なコンベア本数を用いて、(4)式によって求めることができる。

$$W_N(n_{cN}) = \frac{sv\mu}{k} \times n_{cN} \quad (4)$$

・ X_N について

上記内容と Fig.14 より、 X_N は以下のように定式化することができる。

$$X_N = X_{N-1} + x_N - W_N \quad (5)$$

4.4. 最小コンベア本数決定アルゴリズム

(2)式より、 N ステップ目に必要なコンベア本数が求まった。しかし、この値は到着物量に比例した値となり各ステップにおける局所最適解となっている。そこで、制約条件を満たし全ステップの到着物量を捌くことができる最小のコンベア本数を求めるアル

ゴリズムを Fig. 16 に示す。

条件判定について、制約条件と Fig. 17-1, Fig. 17-2 を例に説明する。

【制約条件】

その1： N ステップ目に到着したボックスは $N + N_P$ ステップ目までに仕分けされなければならない。

その2： N_D ステップ以降に到着した物量について、発送はされないが作業時間内に仕分けは完了しなければならない。

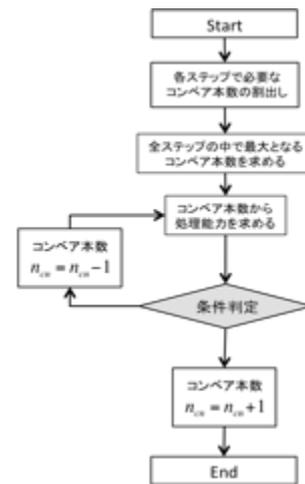


Fig.16: コンベア本数決定アルゴリズム

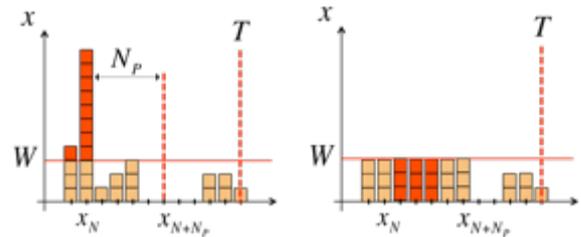


Fig.17-1: 到着物量分布例

Fig.17-2: 後倒し平滑化

制約条件を満たす場合の例として、Fig. 17-1 のような到着物量分布が与えられた場合を考える。(2)式より各ステップにおけるコンベア本数 n_{cN} がそれぞれ求まり、その中から最大本数が決まる。今回は、そこから、コンベアの本数を1本ずつ減らしていき最小の本数を求める方法を考える。

コンベア本数を減らしていくと、Fig. 17-1 のように、 N ステップ目に仕分け能力を大幅に超える物量が到着する場合がある。このとき、制約条件その1により、 N_P ステップ目まで後ろ倒しにして処理を行えるかを(6)式を用いて判定する。

$$X_{N-1} + x_N < W \times (1 + N_P) \quad (6)$$

この式の左辺は、 N ステップ目において荷卸しベースに存在するボックス数をあらわし、右辺は現在のステップと猶予ステップ数分をあわせたステップ数における仕分け可能なボックス数をあらわしている。Fig. 17-2 のように、 N ステップ目に荷物を後倒しに平滑化した際、猶予ステップ内に収まる場合は(6)式を満たす。逆に、(6)式を満たさない場合には、Fig. 16 の条件判定からはずれる。

ただしこの場合、制約条件その 2 より、 $N + N_p$ ステップ目が稼働時間内 T に収まっているかどうかで以下のように場合分けが必要である。

$$N_p = \begin{cases} N_E - N & (N + N_p \geq 0) \\ N_p & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (7)$$

(7)式を(6)式に代入し、条件判定を含めたループを回すことで、制約条件を満たす最小のコンベア本数を求めることができる。

ここで、全 60 ステップ中に(6)式を満たさなかった回数を条件判定 NG 回数と呼ぶことにする。

4.5. ロバスト性の検証について

前述までの方法によって、到着分布に対する物量を捌くのに必要なコンベアの最小本数がそれぞれの猶予時間に対して求まる。ここで、それぞれの求めた最小本数から、さらに 1 本少ないコンベア本数において、横軸を猶予時間、縦軸を全 60 ステップ中の条件判定 NG 回数としてグラフを作成する。

このグラフにより、コンベア 1 本の差においてどの程度ロバスト性があるかの検証をすることができる。仮に、条件判定 NG 回数が 1 回だとした場合は、到着分布の見積りにフィードバックさせることで、1 本少ないコンベア本数にするといった意思決定につながることも考えられる。

5. 提案手法の評価

前章で示された提案手法に対して、実データを用いてシミュレーションすることで、提案手法の評価を行う。

5.1. 実データによるシミュレーション結果

今回は実データとして、Fig.18 に示すように、都内に実在するベースの平常期の到着物量分布を使用する。

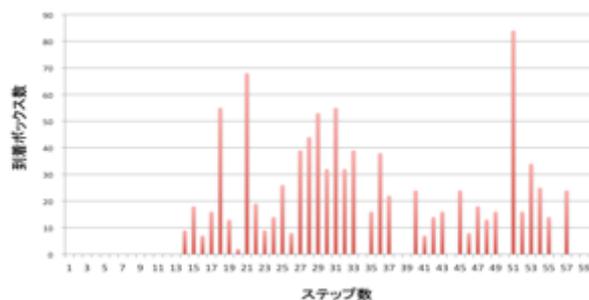


Fig.18: 到着物量分布

また、コンベア本数を求めるのに必要となる定数一覧を Table.5 に示し、Fig.19 において、猶予ステップ数を変化させた場合の必要コンベア本数との関係求めた。

Table 5: 定数の設定値

定数	設定値
v	55 [m/min]
μ	1.0 [個/m]
k	60 [個/box]
X_0	0 [個] ※

※ 3.4 の制約条件その 2 より

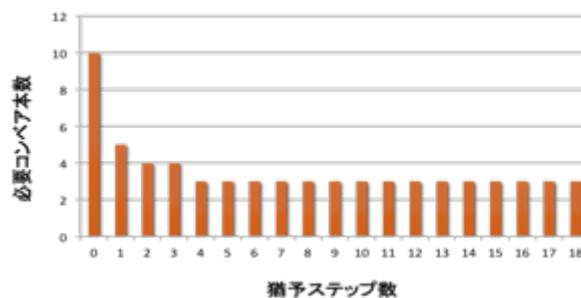


Fig.19: 猶予ステップ数におけるコンベア数の推移

Fig.19 において、猶予ステップ数が 4 以上の時には、必要コンベア本数は 3 本という結果であった。ちなみに、実際のベースでは 5 本のコンベアを使用しており、猶予ステップ数を 4 ステップ以上に設定した場合には、2 本のコンベアを持て余していることがわかった。ここで、前述したようにロバスト性の検証を行う。つまり、猶予ステップ数が 4 以上の場合について、コンベア本数が $2 (= 3 - 1)$ 本の場合の条件判定 NG 回数のカウントを行う。その結果を Fig.20 に示す。グラフより、猶予ステップが 12 回を超えた場合は、条件判定に引っかかる回数は 11 回から変化が見られないことが分かる。

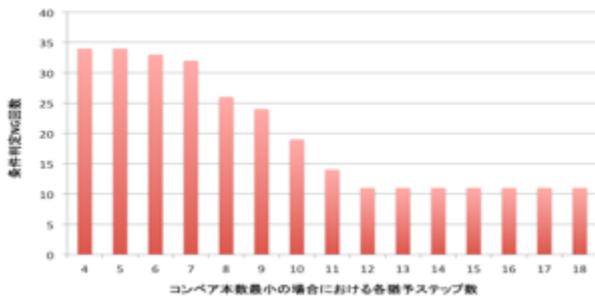


Fig.20: 条件判定 NG 回数

詳しくみると、条件判定に引っかかる箇所は分布の後半部分のみであり、Fig.18の到着物量分布2回目の波のピークである50ステップ目から60ステップ目までの11(=60-50+1)回が該当している。また、50ステップ目以前のステップでは猶予ステップが12回以上の場合は、制約条件内に仕分けが可能であることが確認された。よって、Fig.20からは、ベースの地理的な関係から到着物量の分布に2回の波が現れる特徴が大きく影響するため、コンベア本数を3本から2本に変えると、制約条件その1に対して60ステップ中11ステップがNGとなることがわかる。これにより、このベースの到着物量分布に対して、コンベア本数が3本の時はそれほどロバスト性が高くないということが言える。

5.2. 分布を変えた場合のロバスト性に関して

ここで、Fig.18において、45ステップ目以降の総到着物量数は同じとし、分布を一様分布にしたものをFig.21に示す。

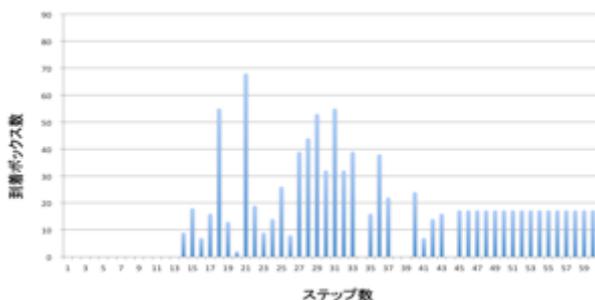


Fig.21: 到着物量分布(45ステップ目以降一様)

そして、この分布において猶予ステップ数とコンベア本数の関係を、Fig.22に示す。

Fig.22について、45ステップ目以降の分布を一様分布に変えて再度シミュレーションをしたが、必要コンベア本数の推移はFig.19と変化がなかった。これは、45ステップ目以降の値のみでなく、それ以前の荷卸しバースに溜まっている物量の値が影響し

ている為と考えられる。

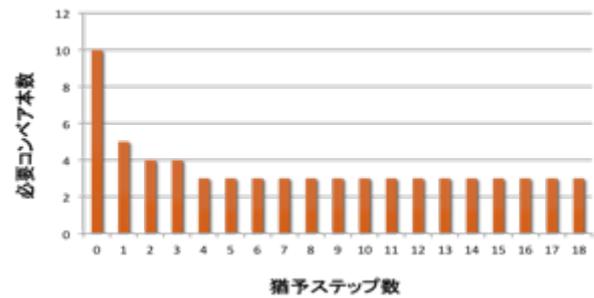


Fig.22: 到着物流の時の猶予ステップ数におけるコンベア数の推移

よって、Fig.22の形が変わらなかったことも踏まえ、このベースはFig.18の到着物量分布の際には、コンベア本数は最低3本必要であり、かつ3本ではロバスト性に優れないということがわかった。

6. まとめ

- ・ ベースの処理能力を評価するにあたり、総到着物量ではなく到着分布に注目して必要なコンベア本数を求め、ロバスト性を検証するという流れの手法を提案した。
- ・ 仕分け作業にはコンベアの本数が最も大きく寄与し、到着物量分布に対する適切なコンベアの本数を割り出すことが、ベースの設計にとって重要であることがわかった。
- ・ コンベアの処理能力と到着ボックス数を比べる際には、コンベア本数に対する到着ボックス数の比率が大きいため、仮に最小コンベア本数が決まったとしても、猶予ステップや条件判定 NG 回数などから再度検証し、適切なコンベア本数を求める必要があることがわかった。

参考文献

- 1) 平成 23 年度 我が国情報経済社会における基盤整備(電子商取引に関する市場調査), 経済産業省(2012)
- 2) 嘉瀬英昭: 地域政策研究, 高崎経済大学地域政策学会, 第5巻 第1号, 81/92 (2002)
- 3) 増田悦夫: 宅配便サービスの現状と今後の課題, 流通経済大学流通情報学部紀要, 31/48(2006)
- 4) 物流大激変, 28/50, 日経 BP 社(2013)
- 5) <http://www.flexsim.com/>