

## 単一ループ循環型搬送システムのシミュレーション、解析、最適化

01100884 京都工芸繊維大学 \*木瀬 洋 KISE Hiroshi

京都工芸繊維大学 呂 明哲 LU Mingzhe

01108834 京都工芸繊維大学 軽野 義行 KARUNO Yoshiyuki

### 1 はじめに

本研究では、一群のビークルが一つのループ経路上を一定の順序で繰り返し巡回しながら、経路上に配置された多数のステージでローディング、処理及びアンローディングを含む作業を行う順列循環型搬送システムを取り上げる。このようなシステムは工場や物流センターなどにおけるマテハンシステムとして普遍的に実在する。以下ではこのようなシステムのシミュレーション、性能解析及び最適化について検討する。

### 2 システムの概要

Fig.1に示すように、同一性能を持つ  $ns$  個の処理ステージはビークルの進行方向に沿って、番号の昇順となるように経路に沿って配置されている。ビークルはローディングステージから出発し、一つの処理ステージで何らかの処理を行い、最後にアンローディングステージまで行く。アンローディングステージでの処理が終わると、次の循環に入る。1台のビークルが1循環で行う作業の集合を1ジョブという。このシステムは一つのループ経路しか持たないので、ビークルの追い抜きは許されない。ビークル間の衝突を防止するため、各ステージの経路上にビークルが停止可能なバッファゾーンを設置する。一つのバッファゾーンは一台のビークルのスペースに相当する。先行ビークルがステージで処理を行うなどのため、停止したとき、後続ビークルはその直前のバッファゾーンで停止し、待機しなければならないことがある。これを先行ビークルによる干渉という。このような干渉はビークルの巡回時間を増大させ、平均巡回時間などの評価尺度に悪い影響を及ぼす。そこで、このような干渉現象のシミュレーション、解析、及び干渉の最小化を試みる。

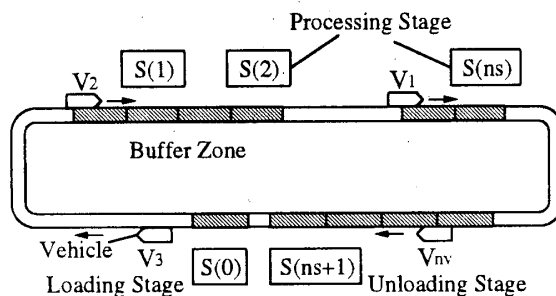


図 1: Permutational Circulation-type Vehicle Routing System

### 3 システムの解析

#### 3.1 ステージ負荷方式

ここでは、各ジョブは任意の処理ステージで一度だけ処理される場合を考える。例えば、事例として立体自動倉庫において、入荷した荷物を保管するため、各ビークルが荷物を一つずつ立体棚まで搬送する場合は挙げられる。そこで、ここでは、各ステージへの負荷が均一となる様に、次の2つの負荷方式を検討する。

**order 負荷方式:** 作業は  $S(ns), S(ns-1), \dots, S(1)$  の順に処理され、この順番を必要なだけ繰り返す。

**random 負荷方式:** ジョブ毎に一様乱数によって処理ステージを決定する。

#### 3.2 隣接する2台ビークル間の干渉

order 方式において、隣接する2台のビークル  $V_k, V_{k+1}$  に対し、先行ビークル  $V_k$  が処理ステージ  $S(1)$  で処理される場合、 $V_k$  が  $S(1)$  での処理を終わらないと、後続ビークル  $V_{k+1}$  は前に進めないため、干渉が発生する。このような干渉を非並列割当による干渉という（以後、非並列型干渉という）。一方で、 $V_k$  が  $S(1)$  以外の処理ステージで処理を行い、 $V_{k+1}$  がより手前で処理を行う場合、 $V_k$  と  $V_{k+1}$  は同時並行的に処理可能である。しかしながら、そのような場合でも、 $V_k$  と  $V_{k+1}$  の間隔及びそれらの処理時間の長

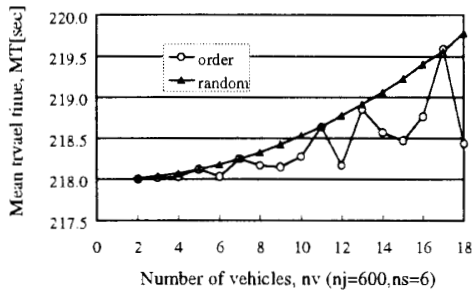


図 2: Mean travel time with number of vehicles

さによって、干渉が発生することがある。このような干渉を並列割当による干渉という（以後、並列型干渉という）。 $V_k$  と  $V_{k+1}$  の処理ステージでの処理時間をそれぞれ  $P_p(k)$  と  $P_p(k+1)$  で表し、 $V_k$  と  $V_{k+1}$  の間隔を  $D_{k+1}$  で表すと、非並列型干渉が発生する条件は  $P_p(k+1)$  の長さにかかわらず、

$$D_{k+1} - d_B < P_p(k) \quad (1)$$

である。ただし、 $d_B$  は隣接するバッファゾーン間のビークル走行時間を表す。また、並列型干渉が発生する条件は以下で与えられる。

$$D_{k+1} - d_B < P_p(k) - P_p(k+1) \quad (2)$$

### 3.3 処理時間一定の場合の平均巡回時間

全てのジョブの処理時間が一定、すなわち、

$$P_p(k) = P_p, k = 1, 2, \dots, ns \quad (3)$$

の場合を考える。この場合の order 方式においてはステージ  $S(1)$  における非並列型干渉のみが発生する（式 (1) 参照）。また、各ビークルが巡回を繰り返すに従って、ビークル間の干渉が起こらない定常状態に近づいていく。定常状態に達するまでに全ビークルに発生した干渉時間の合計は

$$WT(order) = (nv/2)[P_p(nv/g - 1) + nvP_p(1 - 1/g)] \quad (4)$$

で与えられる。ただし、 $g$  は  $nv$  と  $ns$  の最大公約数で、 $P_p$  は出力ステージでの処理時間である。従って、各ビークルの平均巡回時間は

$$MT(order) = T_{\min} + WT(order)/nj \quad (5)$$

となる。ただし、 $T_{\min}$  は干渉なしにビークルが 1 巡回する時間である。

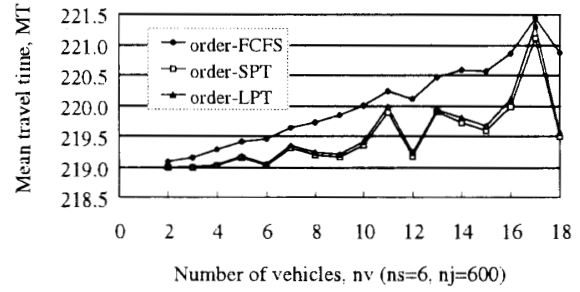


図 3: Mean travel time with number of vehicles

Fig.2は処理時間一定 ( $P_p = 7$ ) としたとき、シミュレーションによって得られた order 方式と random 方式の平均巡回時間を示している。order 方式については式 (4) とよく一致している。

## 4 最適化スケジューリング

ジョブ処理時間が異なる場合には  $S(1)$  以外の処理ステージで並列型干渉が発生する可能性がある。すなわち、式 (2) によって、隣接するビークルの処理ステージでの処理時間差が干渉の原因となるので、この差の最小化にするによって、干渉を削減することを目指す。処理ステージでの処理時間の小さい順（SPTルール）、あるいは処理時間の大きい順（LPTルール）で処理すると、いずれも隣接するビークルの処理ステージでの処理時間差は最小である。従って、最適方法として、order 方式に対して、SPTルール（order-SPT）と LPTルール（order-LPT）を提案する。Fig.3は提案した手法と（ジョブの並び替えを行わない）ジョブ番号順（order-FCFS）を比較したものである。order-SPT法が最も優れていることが分かる。

## 5 終わりに

本研究では単一ループ循環型搬送システムに対してシミュレーション、解析及び最適化を試み、以下の結論を得た。

1. ステージ負荷方式として order 方式と random 方式を比較したとき、order 方式の方が有利である。
2. ジョブ処理時間一定の場合、order 方式においてはビークル数とステージ数の最大公約数が大きい方が有利である。
3. 処理時間が異なる場合の order 方式においては処理時間の非減少順（order-SPT）のジョブ投入順序が有利である。