

生産ラインにおけるロット数変化による生産効率の改善

峯村, 匠
東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻

西成, 活裕
(独) 科学技術振興機構さきがけ | 東京大学先端科学技術研究センター

<https://doi.org/10.15017/23407>

出版情報：応用力学研究所研究集会報告. 22A0-S8 (23), pp.161-165, 2011-03. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：

応用力学研究所研究集会報告 No.22AO-S8
「非線形波動研究の新たな展開 — 現象とモデル化 —」 (研究代表者 笥 三郎)
共催 九州大学グローバル COE プログラム
「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」

Reports of RIAM Symposium No.22AO-S8

Development in Nonlinear Wave: Phenomena and Modeling

Proceedings of a symposium held at Chikushi Campus, Kyushu University,
Kasuga, Fukuoka, Japan, October 28 - 30, 2010

Co-organized by
Kyushu University Global COE Program
Education and Research Hub for Mathematics - for - Industry

Article No. 23 (pp. 161 - 165)

生産ラインにおけるロット数変化による生産効率の改善

峯村 匠 (MINEMURA Takumi), 西成 活裕
(NISHINARI Katsuhiko)

(Received 16 January 2011)



Research Institute for Applied Mechanics
Kyushu University
March, 2011

生産ラインにおけるロット数変化による生産効率の改善

東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻

峯村匠 (MINEMURA Takumi)

東京大学先端科学技術研究センター,(独) 科学技術振興機構さきがけ

西成活裕 (NISHINARI Katsuhiko)

概要 生産現場などにおいて、ロット数(どれだけまとめて生産するか)の単位)を適切に設定することは生産効率の向上には不可欠である。もちろん経営工学的なアプローチで最適ロット計算の手法は提案されているが、実際の生産現場で必ずしも最適なロットを計算することができていない。そこで本研究では、生産工場をモデル化し、ASEPを用いてのシミュレーションと理論解析を行うことで、工学的な立場から生産・輸送効率を上げることのできるロット数を考えた。

1 ASEP

ASEPは一次元非対称単純排他過程 (asymmetric simple exclusion process) と呼ばれる非平衡統計力学モデルである。ASEPは1次元格子点を体積排除の相互作用の下に多数の粒子が拡散するという単純なモデルであり、境界条件による相転移や非等方的なスケーリングなど、非平衡系特有の興味深い現象を示すことが知られている。本研究ではASEPを生産ラインに応用し、生産効率を向上させることの出来る手法を提案する。図1のように、境界条件を確率 α で粒子が左端から流入して

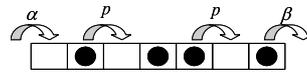


図 1: ASEP モデル

きて確率 β で右端から流出するとした系を開放系 ASEP と呼ぶ。また定常状態における流量 Q の値は α, β, p の大小関係で挙動が変化し、図2のように決まることがわかっている。

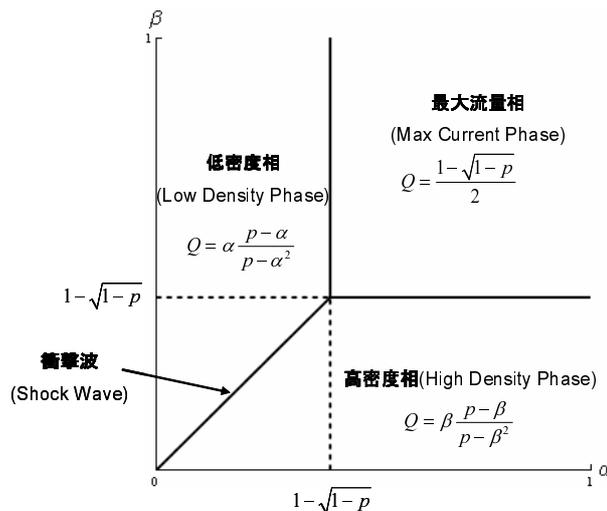


図 2: Phase Diagram

2 生産工場のモデル化

生産工場を再現するモデルの構築を考える。一般の生産工場では多くの工程同士が分岐・合流するなどしてネットワーク構造になっているが、ここでは単純化のため分岐・合流は考えず、一次元のモデルで考える(図3)。まず N 個の製品を生産すると考える。次にその N 個の製品をロット数 r で分割する。ここではすべての荷物の単一化のため r は N の約数の場合のみを考えることとする。つまり $X = \frac{N}{r}$ 個の荷物ができる。そして工程数を n とし、この X 個の荷物を ASEP 開放系のルールに従って下流工程へ流していく。また遷移確率、流入確率、流出確率はそれぞれ $p(r)$, $\alpha(r)$, $\beta(r)$ とロット数 r の関数と考えることで、 r による挙動を調べる。

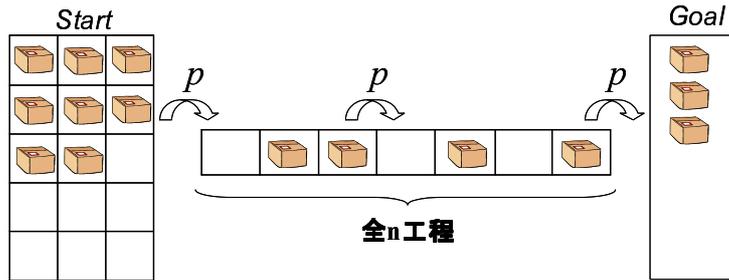


図3: 生産工場モデル

3 遷移確率関数の設定・理論解析

具体的な $p(r)$ の形についてはある程度の自由度があるが、現実的な状況を考えて以下のような条件を満たすことが必要となる。

- 1ロットあたりの各工程所要時間 t は小ロットのときほど小さい。(小ロットにすることの利点)
つまり $r_1 \leq r_2$ のとき $t(r_1) \leq t(r_2)$ より

$$p(r_1) \geq p(r_2) \quad (3.1)$$

- 製品1個あたりの各工程所要時間は大ロットのときほど小さい。(大ロットにすることの利点)
つまり $r_1 \leq r_2$ のとき $\frac{t(r_1)}{r_1} \geq \frac{t(r_2)}{r_2}$ より

$$r_1 p(r_1) \leq r_2 p(r_2) \quad (3.2)$$

上記の条件を満たす遷移確率関数として以下のように $p(r)$ を設定する。

$$p(r) = r^{-\gamma} \quad (0 < \gamma \leq 1) \quad (3.3)$$

このとき γ が小さいときは r を大きくすることで製品1個あたりの平均所要時間が大きく下がるが、 γ が大きいときには r を大きくしても平均所要時間の変化が小さいことから、 γ は大量生産による効率をあらわす指標としてみなすことができる。(γ が小さいほど効率は大きい)

流量 Q は単位時間あたりある地点を通過する荷物の数を表すので、すべての工程が定常状態にあるとき、 X 個の荷物が Goal に入るのに要する時間を T_1 とすると

$$T_1 = \frac{X}{Q} = \frac{N}{rQ} \quad (3.4)$$

また最初の荷物の下流工程は常に空いているので，最初の荷物が最後 (n 番目) の工程に入るまでの時間を T_2 とすると

$$T_2 = \frac{1}{\alpha(r)} + \frac{n}{p(r)} + \frac{1}{\beta(r)} \quad (3.5)$$

最初の荷物が n 番目の工程に入ったとき，すべての工程が定常状態に達すると仮定すると，リードタイム T (すべての荷物が Goal に達する時間) は

$$T = T_1 + T_2 = \frac{N}{rQ} + \frac{1}{\alpha(r)} + \frac{n}{p(r)} + \frac{1}{\beta(r)} \quad (3.6)$$

と考えることができる。

4 シミュレーション

上記のように遷移確率関数を $p(r) = r^{-\gamma}$ と設定した場合のシミュレーションを行った。このシミュレーションではロット数の変化によるリードタイム T (X 個の製品がすべて Goal に達するまでの総所要時間) の変化を調べた。シミュレーション条件は以下の通りである。(表 4)

図 4~6 にシミュレーション結果を示す。図の縦軸はリードタイム T の平均値，横軸はロットサイズ r であり，両対数グラフであり，シミュレーション結果を点とエラーバーで，理論解を線で表している。これを見ると相に関わらず理論解とシミュレーション結果はほぼ一致することが分かる。

表 1: シミュレーション条件 1

全荷物数	$N = 4320$
工程数	$n = 50$
遷移確率	$p(r) = r^{-\gamma}$
流入確率	$\alpha(r) = \alpha_0 p(r)$
流出確率	$\beta(r) = \beta_0 p(r)$
シミュレーション回数	100 回

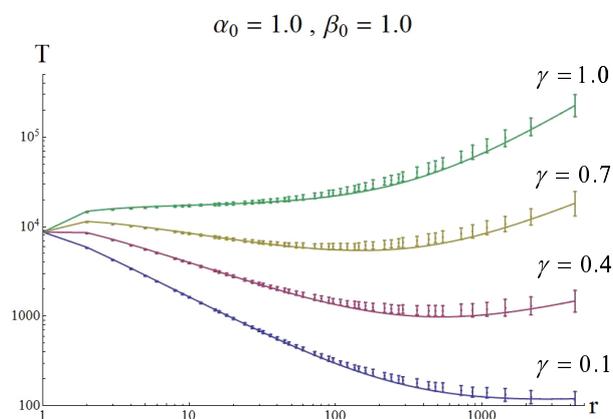


図 4: 最大流量相

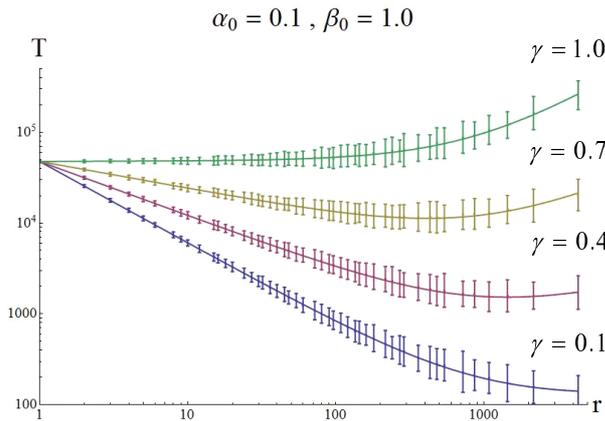


図 5: 低密度相

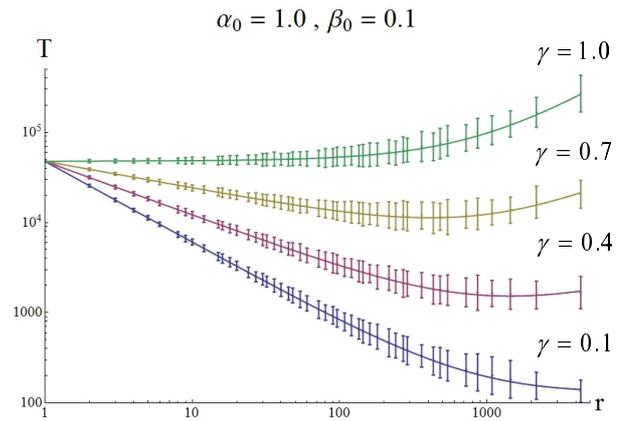


図 6: 高密度相

4.1 リードタイム最小値を与えるロット数の分析

理論解からリードタイム T の最小値を与えるロット数 r_c , つまり最適ロットを計算する. ここでは最大流量相の場合 ($p(r) = \alpha(r) = \beta(r)$) を考える. 理論解は式 (3.6) であったので, これを r で微分すると

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{2N}{r^2(1-\sqrt{1-p(r)})} - \frac{Np'(r)}{r(1-\sqrt{1-p(r)})^2\sqrt{1-p(r)}} - \frac{np'(r)}{p(r)^2} \quad (4.1)$$

ここに $p(r) = r^{-\gamma}$ を代入すると

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{2N}{r^2(1-\sqrt{1-r^{-\gamma}})} + \frac{Nr^{-\gamma}\gamma}{r^2\sqrt{1-r^{-\gamma}}(1-\sqrt{1-r^{-\gamma}})^2} + nr^{-1+\gamma}\gamma \quad (4.2)$$

となるが, このとき $\frac{dT}{dr} = 0$ は超越方程式となり解析的に解くことは不可能である. しかし, パラメータ γ, N, n の 3 つを与えることで Mathematica で数値的に解くことは可能であるので, それぞれのパラメータに関して最適ロット r_c の挙動を分析した. 以下の図 7 は工程数を $n = 50$ に固定して全製品数 N を変化させた場合, 図 8 は全製品数を $N = 4320$ に固定して工程数 n を変化させた場合について, 縦軸に理論解に基づいた最適ロットをとったものである. 図 7, 8 より, リードタイムが最小となる最適ロット r_c は, 全製品数 N に比例して増加, 工程数 n に関して単調減少となる.

5 結論

- リードタイムを最小化できる最適ロットが存在する.
- リードタイムは相に関わらず式 (3.6) で見積もることが出来る.
- リードタイムが最小となる最適ロット r_c は, 全荷物数 N が小さいほど, 工程数 n が大きいほど小さくなる. またこのモデルは, リードタイムや最適ロットの定性的な増減だけでなく, 定量的な値も求めることが可能であるため, 現実の生産ラインの設計に大いに応用することができると考えられる.

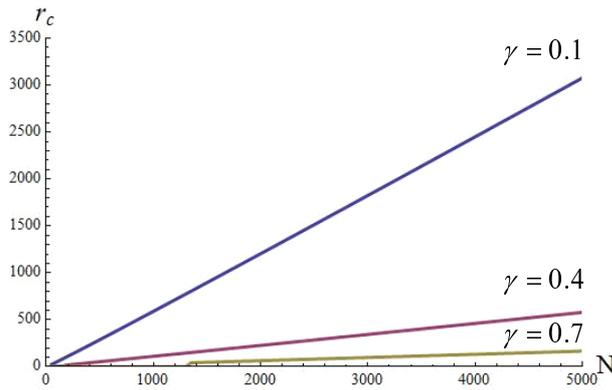


図 7: 全製品数 N による最適ロットの変化

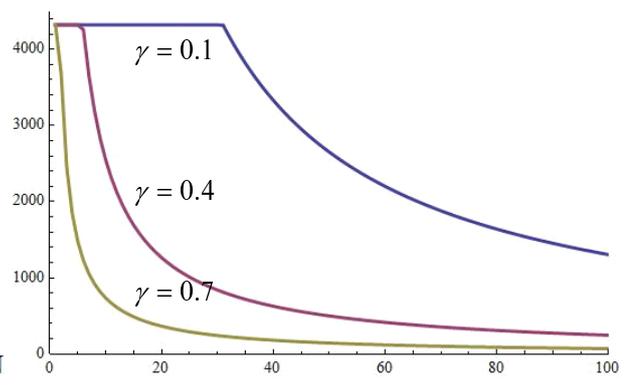


図 8: 工程数 n による最適ロットの変化

参考文献

- [1] 藤本隆宏：“生産マネジメント入門 生産システム編”，日本経済新聞社
- [2] Jan de Gier and Bernard Nienhuis：“Exact stationary state for an asymmetric exclusion process with fully parallel dynamics”，PHYSICAL REVIEW E, VOLUME59,NUMBER5,MAY 1999
- [3] Kurt Johansson：“Shape Fluctuations and Random Matrices”，Commun.Math.Phys.209,437-476(2000)
- [4] N.Rajewsky,L.Santen,A.Schadschneider,and M_Schreckenberg：“The Asymmetric Exclusion Process:Comparison of Update Procedures”，Journal of Statistical Physics,Vol.92,Nos.1/2,1998