

# 作業者の疲れを考慮したラインバランシング

千野宗博(09x4066) 指導教員 五島 洋行

## 1. はじめに

ラインバランシングの手法を用いた生産ラインの一つとして自己バランス機能を備えた生産ラインが提案されている。文献[1], [2]では、自己バランス機能を備えた生産ラインについて最大の生産率を達成する他の条件を解析的に明らかにすることにより、このラインの特性を示している。また文献[1], [2]では、作業効率を一定としてこの生産ラインについて解析を行っている。しかし、現実の作業場では作業者は一定の作業効率で作業するとは考えにくい。作業効率が変化する場合についての解析が必要であると考えられる。よって本研究では、作業者の疲れを考慮し解析を行う。疲れを考慮することにより作業者の作業効率に負荷がかかり、時間が経つにつれて作業効率は下がっていく。これにより、作業効率が変化する場合についての解析を行うことができる。また疲れを考慮することによって、モデルの挙動や収束条件、バランスを保つための条件などが影響を受けると考えられる。そのため本研究では、ラインバランシングを用いた生産ラインにおいて、作業者の疲れを考慮した場合のモデルの挙動や収束条件、バランスを保つための条件について解析を行う。

## 2. 前提条件

### 2.1 疲れ方のモデル

作業者が3人の場合についてのみ解析を行い、持続型、瞬発型、ムラ型の3通りの疲れ方を仮定する。この3通りの疲れ方を作業員3人にそれぞれ適用すると、6通りの作業員の並び方が存在する。本研究では作業効率にムラがある時とない時の二つについて解析を行うため、ムラがない時は標準型と仮定する。さらに本研究では、時間ではなくサイクルタイムと比例して疲れが増加し、作業効率が低下していくモデルを提案する。これは1サイクルを行うごとに疲れがたまることを意味している。ここでのサイクルタイムとは作業開始～作業終了までの作業時間を表す。また1サイクルとは、作業員が作業を開始し、作業を終了させてからラインを戻って次の作業を引き継ぐまでのことを意味している。

### 2.2 生産ラインモデル

以下のような生産ラインモデルを仮定する。

1. 同一の品目を順番に処理する生産ラインに、作業員1から3が順番に並んで作業をしており、各作業員は他の作業員を追い越すことができない。
2. 試行サイクル数は100回とし、ブロッキングが発生したサイクルで作業を中止する。各作業員は作業によらず作業効率  $v_i > 0 (i=1,2,3)$  とし、ラインを移動しながら作業を行う。初期作業効率を  $v_{i,s}$  とする。
3. 最後の作業員3は製品を完成させたら、作業員2がいるところまで戻り、そこから作業員2が行っていた作業を引き継いで行う。引き継ぎ終えたら、作業員2は作業員1がいるところまで戻り作業を引き継ぐ。また、作業員1はラインの先頭的位置に戻り新しい品目の作業を始める。ただし、作業を引き継ぐ時間はかからないとする。
4. 図1は、作業員  $i$  が作業を開始したときにラインの先頭から作業員  $i$  までの位置を  $x_i$  とすることを示している。また、 $n$  サイクル目の作業位置を  $x_i^{(n)}$  とし、作業が終了したときの位置を  $x_{i,e}^{(n)}$  と表す。サイクルとは、作業開始から次の作業開始までのことを示し、3より  $x_{i+1}^{(n+1)} = x_{i,e}^{(n)}$  となる。最初の作業開始位置を初期作業位置といい、 $x_i^{(0)}$  と表す。
5. ラインの戻り速度を  $v_b = 0.3$  とし、作業員によらず一定とする。下流の作業員が戻ってくるまで作業を行い、戻っている作業員と出会う時に作業を引き継ぐ。

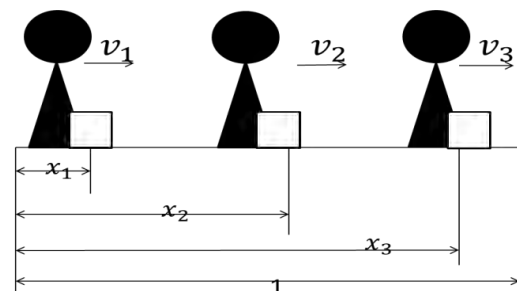


図1 本研究における生産ラインモデル

### 3. 提案方式

#### 3.1 作業効率

本研究では、作業効率を次のように与える。疲れを考慮するにあたり、疲れ係数 $\lambda$ を導入する。疲れ係数は疲れ方により異なり、持続型、標準型、瞬発型の疲れ係数をそれぞれ $\lambda=0.01, 0.02, 0.06$ とする。この疲れ係数 $\lambda$ と初期作業効率 $v_{i,s}$ 、サイクル数 $n$ を用いて作業者の作業効率 $v_i$ を次の式(1)のように示す。

$$v_i = v_{i,s} \times e^{-\lambda(n-1)} \quad (i = 1,2,3)(n = 1,2, \dots, 100) \quad (1)$$

$v_{i,s}$  は、作業者によって異なる。作業者 1 は  $v_{1,s}=0.1$ 、作業者 2 は  $v_{2,s}=0.2$ 、作業者 3 は  $v_{3,s}=0.3$  とする。式(1)より作業効率は指数減衰していく。これは増加せず、非負である。ムラ型の場合 $v_{i,s}$ にバラツキ  $w=\pm 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$  を与える。バラツキ  $w$  を与えた作業効率に式(1)を用いて指数関数を二つ与える。それらの間に一樣乱数を発生させムラ型の作業効率とする。

#### 3.2 数値実験

本研究では、作業効率のムラを考慮しない場合とする場合の二つについて数値実験を行った。ムラを考慮する場合においては、ムラ型の作業者が 2 人または 3 人いる場合についても考察を行った。

ムラを考慮しない場合とする場合の二つを比較して考察を行い、作業者がラインの先頭から作業効率の遅い順に並べられていればブロッキングは起きないことを示した。これは一時的に遅い順になっていればよいわけではなく、永続的に遅い順になっていなければならない。また、作業者の順番が入れ替わるとアンバランスな状態になりブロッキングが起りやすくなる。ブロッキングとは遅い作業者によって速い作業者の作業が妨げられる現象のことであり、ブロッキングが起きてしまうと、作業が出来なくなる作業者があられ、時間ロスが起きてしまう。ブロッキングはすぐ発生するわけではなく、作業者同士の作業効率の差によってブロッキングの発生タイミングは変わる。

ブロッキングが発生する条件として低作業者の発生が挙げられる。低作業者とはサイクルが経つにつれて作業効率が低下し、作業する範囲が狭くなる作業者のことをいう。低作業者はサイクルごとの作業開始位置の変化によって発見できることを示した。作業者 3 人の初期作業位置 $x_i^{(0)}$ と第  $n$  サイクル目の作業

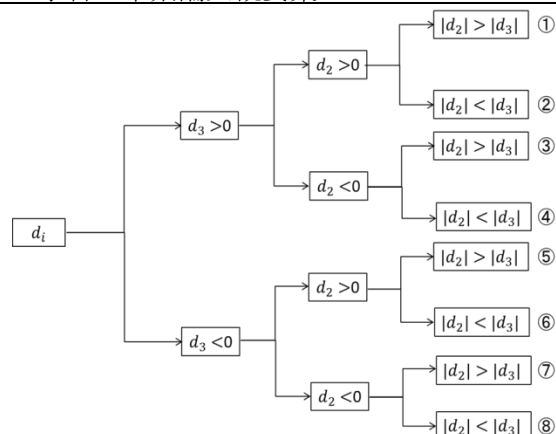


図 2  $d_i$  の場合分け

開始位置 $x_i^{(n)}$ との差を $d_i(i=2,3)$ とすると、図 2 のように場合分けすることができる。例えば図 2 の①の場合、低作業者は作業者 2 であり、ブロッキングが発生する原因となる。 $d_i=0$  の場合、作業者は収束位置においてそれ以降ブロッキングは起きず、低作業者は存在しないといえる。これを用いてブロッキングの発生頻度を下げることができると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では作業者の疲れを考慮したラインバランスの方法を提案し、作業者 3 人の場合について解析を行った。作業効率のムラを考慮する場合としない場合の二つについて解析を行い、作業効率がサイクルごとに変化しても従来の研究と同じことがいえることを示し、ブロッキングが発生する条件として低作業者の発生を挙げた。また、低作業者を見つける指標を作成することによりブロッキングの発生頻度を下げられると考えられる。

今後の課題として、本研究では考慮されていない条件についての解析、ブロッキングや災害が発生してしまったときに復旧させるための条件の解析が挙げられる。

#### 参考文献

- [1] 広谷大助, 森川克己, 高橋勝彦: “自己バランス機能を備えた生産ラインに関する研究.” 日本経営工学会論文誌, Vol.56, No.3, pp.155-163(2005)
- [2] 広谷大助, 森川克己, 高橋勝彦: “戻り時間を考慮した自己バランスラインの解析”, 日本経営工学会論文誌, Vol.57, No.5, pp.338-344(2006)

平成 24 年度 卒業論文

# 作業者の疲れを考慮した ラインバランシング

法政大学 理工学部 経営システム工学科  
経営数理工学研究室

2013 年 2 月

学籍番号:09X4066

千野 宗博

指導教員：五島洋行 准教授

# 論文要旨

ラインバランシングの手法を用いた生産ラインの一つとして、自己バランス機能を備えた生産ラインが提案されている。このラインでは、適切に作業者を並べることにより、サイクルが進むにつれて速い作業者は多くの作業を受け持ち、遅い作業者は少ない作業を受け持つことによりバランスを保ち、自己バランスと呼ばれる安定した最適な状態である事が示されている。特に作業者を作業の遅い順に並べると、最大の生産率を達成することが分かっている。先行研究では作業者を  $n$  人として戻る時間を考慮する場合としない場合について解析を行い、自己バランス機能を備えた生産ラインにおいて生産率が最大である条件を示している。しかし先行研究では、作業者の速度を一定として解析を行っているため、作業者の速度が変化する場合についての解析を行っていない。現実の作業場では作業者が一定の速度で作業するとは考えられない。そこで本研究では、作業者の疲れを考慮した解析を行う。疲れを考慮することにより作業者の作業速度に負荷がかかり時間が経つにつれて作業速度は下がっていく。これにより、作業者の速度が変化する場合についての解析を行うことが出来る。また疲れを考慮することによって、モデルの挙動や収束条件、バランスを保つための条件などが影響を受けると考えられる。

本研究では、疲れのモデルを 3 通り提案し、作業者 3 人に適用させ、6 通りの並び方について解析を行った。またモデルは先行研究と同じものを用い、従来とは異なった式を用いた。作業効率は疲れのモデルごとに異なった負荷を与え、作業効率を仮定した。これらを用いて数値実験を行う。

数値実験では作業効率のムラを考慮する場合としない場合の二つの場合について解析を行った。作業効率がサイクルごとに変化しても従来の研究と同じ結果が得られることを示し、ブロッキングが発生する条件として低作業者の発生を挙げ、低作業者を見つけるための指標を作成した。この指標を実在のラインに活用することで、ブロッキングの発生頻度を軽減させることができると考えられる。