

平成 21 年 5 月 22 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19710130

研究課題名 (和文) 作業速度変動に対処できる自己バランスラインの設計

研究課題名 (英文) Design of self-balancing production line that copes with varying working velocity

研究代表者

広谷 大助 (HIROTANI DAISUKE)

広島大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：30432686

研究成果の概要：本研究では、特別な器具や管理を必要とせず、適切に作業者を並べることによって自然にラインがバランスする自己バランスラインについて研究を行い、従来研究で十分に行われていなかった作業速度の確率的変動に焦点をあて、流れ作業の連続的なラインとステーションが存在する離散的なラインそれぞれに対し解析を行い、その解析結果を基にした目的とした生産率を達成できる作業者の配置の設計法を提案した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,200,000	0	1,200,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	180,000	1,980,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：自己バランス, ライン, 作業, 確率, 変動

1. 研究開始当初の背景

ラインバランスング手法を用いた従来の生産ラインでは、それぞれの作業者に固定された仕事が割り当てられていた。しかし、そのような生産ラインにおいて、作業者の作業の進み具合にアンバランスが生じると、遅い作業者によって後続する作業が遅延し生産率が低下する原因になっていた。この問題を解決するために"自己バランスライン"が提案されており、主にアパレル産業や配送倉庫などで用いられている。自己バランスラインは連続的なラインであり、各作業者はラインを移動しながら作業を行う。そのライン上では、

作業者が動的に作業を分担し、各サイクルにおける作業割り当ては固定されていない。始めに各作業者はあらかじめ決められた初期位置から作業を開始する。作業中に最後の作業者が製品を完成したら、1つ前のライン上流の作業者のところに戻って作業を引き継ぎ、引き継いだ作業を開始する。以下、他の作業者も同様に1つ前の上流の作業者のところに戻って作業を引き継ぎ、引き継いだ作業を開始する。これを続けていき、最初の作業者は作業全体の開始地点に戻って新しい品目の作業を始め、これらの手順を繰り返す。なお、戻って作業を引き継ぐ時間は無視する。

このラインでは、適切に作業者を並べるだけで、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、遅い作業者は少なく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になる事が示されている。

しかし、このラインに関する研究はまだ始まったばかりでラインの特性が完全に明らかにされたわけではない。従って、従来のラインにはない利点を持つ自己バランスラインについて特性を解析し、その結果を基にして実際に適用できるように研究を進める必要がある。自己バランスラインに関する研究自体が1990年代に始まった研究であり研究されていない。しかし近年、自己バランスラインは特別な器具や管理を必要とせず、適切に作業者を並べることによって自然にラインがバランスすることから注目をされ、論文数も年を追うごとに増加する傾向にある。これまでの従来研究はほとんど作業速度を一定として解析されており、作業速度が変動する場合の特性解析はほとんどされていない。自己バランスラインはもともと作業者がなんらかの原因で速度が低下、上昇しても適切に作業者を並べることによって自然にラインがバランスすることを仮定していることから作業速度が変動する場合に対して解析を行うことが本質だと考える。また、考慮されていてもまだ分かっているのは遅い順に作業者を配置すれば特定の条件でラインはバランスすることが述べられているのみである。また、学習率を考慮した論文も存在するが一定の条件で解析されているのみで特性が明らかになったとはいえない。これらのことから、解析を行った上でラインのバランスをとることができる作業者の配置アルゴリズムを考案することは意義があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、大きく分けて以下の2点について研究を行う。

(1) 作業速度が変動する場合に対する特性解析

本研究課題では作業時間が確率的変動を伴う自己バランスラインについてバランスをとるための条件やその際の生産率を解析的に求めることを目的とし、下の2つの場合に対して行う。

① ステーションが存在する離散的なラインに対する解析

② 流れ作業のラインのような連続的なラインに対する解析

①と②の違いは①に対してはステーションの作業が終了しなければ品目を受け渡すことができず、そのために作業者が待つ可能性がある。一方、②では各作業者はどこでも受

け渡しが可能である。つまり、対象とするラインが違うことからそれぞれに対してバランスをとるための条件を考える必要がある。さらに、バランスだけでなくアンバランスになる条件や、初期位置による影響も調べることによって作業速度が変動する場合の特性を明らかにする。ここで作業速度は確率的分布に従っていると仮定する。解析的に全て求められない場合でも、一部の条件を求め、求められない事項についてはシミュレーションを用いることによって明らかにする。

(2) 作業速度が変動する場合に対処できる作業配置のアルゴリズムの設計

(1)の解析を基にして作業速度が変動する場合でもバランスすることができる作業配置のアルゴリズムの設計を行う。具体的には、(1)の解析によって求めたラインがバランスする条件を制約式として組み込み、目的とした生産率を満たし、作業数数が最小となり、数理計画問題を解くことによって求めるようなアルゴリズムを考える。

3. 研究の方法

(1) 作業速度が変動する場合に対する特性解析

まず、(1)の作業速度が変動する場合に対する特性解析を①ステーションが存在する離散的なラインと②流れ作業のラインのような連続的なラインそれぞれに対して行う。具体的な手順は以下の通りである。

① ステーションが存在する離散的なライン

(a) 対象とするステーションが存在する離散的なラインの検討

従来研究で行われている作業速度が変動する場合の論文を読むことによって、従来の自己バランスラインの作業者に対するルールの検討を行う。また、自己バランスラインに近い複数の作業を担当することができる多能工に関しての作業割り当てのルールや手法に関しても論文を調査することにより検討を行う。

(b) 離散的なラインに関する生産率を最大にする作業者の配置ルールの構築

(a)の検討によって作業者の配置をどのようにすればよいかをソフトウェアを用いたシミュレーションや数式処理ソフトを用いて数式から解析的に求めることによって決定する。その際、まず従来研究で述べられている手法に対してシミュレーションや数式処理ソフトを用いて妥当性を検討する。その検討を踏まえ新しい作業者の配置ルートを構築し、同様にシミュレーションや数式処理ソフトを用いて妥当性を検討することによって構築する。

(c) 最も望ましい作業者の配置ルールに対する比較・検討

(b)によって求められた生産率を最大にする最も望ましい作業者の配置ルールと比較し、逆に生産率が悪くなる条件をシミュレーションまたは解析的に求めることで離散的なラインの特性を明らかにする。また、解析的に求められない時でも最も望ましいルールが効果を発揮する条件のガイドラインを最低限示すようにする。

(d) 研究成果の検討・まとめ

研究成果を検討し、成果をどのようにまとめるかの方針について検討し、検討結果に基づいて、本研究の成果を学会で発表し、論文にまとめる。

② 流れ作業のような連続的なライン

(a) 対象とする連続的な自己バランスラインに対する解析法の検討

従来研究で行われている作業速度が変動する場合の論文を調査することにより、解析法や結果の検討を行う。また、自己バランスラインに近い複数の作業を担当することができる多能工に関する論文も調査することにより最適な作業者の配置法に対する手法や結果についても検討を行う。

(b) 連続的なラインに関するバランスをとり生産率を最大にする作業者の並びの導出

(a)の検討によって決定した解析法を基にしてソフトウェアを用いたシミュレーションや数式処理ソフトを用いて数式から解析的に求めることによってバランスをとり生産率を最大にする作業者の並びを導出する。その際、まず従来研究で示されている手法を改良することによってシミュレーションや数式処理ソフトを用いて結果を導出し比較検討する。もし、その手法で導出されない場合でも生産率を最大にする作業者の並びに対するガイドラインまたは一部の条件だけでも示すようにする。

(c) 作業時間が確率的に変動する連続的なラインに対する特性の解析

(b)では、生産率を最大にしてバランスをとることができる作業者の並びを求めたことから、逆に生産率が悪くなるアンバランスになる条件をシミュレーションまたは解析的に求めることで連続的なラインの特性を明らかにする。また、初期位置がバランスをとり生産率を最大にする並びに対する影響を調べることにより過渡的な特性も明らかにする。

(d) 研究成果の検討・まとめ

研究成果を検討し、成果をどのようにまとめるかの方針について検討し、検討結果に基づいて、本研究の成果を学会で発表し、論文にまとめる。

(2) 作業速度が変動する場合に対処できる作業者配置のアルゴリズムの設計
連続的なラインと離散的なラインに対す

る特性解析を基にして作業速度が変動する場合に対処できる作業者配置のアルゴリズムに対する考察を行う。具体的な手順は以下の通りである。

(a) 作業者の特性解析の結果の再検討

これまでの研究結果を再検討することによって、どの結果を作業速度が変動する場合に対処できる作業者配置のアルゴリズムに組み込むことができるかの考察を行う。

(b) 作業速度が変動する場合に対処できる作業者配置のアルゴリズムの構築

(a)の結果を基にして、従来研究を参考にしながら作業者配置のアルゴリズムの構築を行う。具体的には、まず目的関数と制約式を決めて数理計画問題を構築する。その数理計画問題を解く作業者配置のアルゴリズムを解法にヒューリスティック法を用いることによって構築を行う。できない場合でも作業者の配置に対する完全列挙法をしないような工夫をいれたアルゴリズムを構築する。

(c) 構築したアルゴリズムに対する検討

構築したアルゴリズムがうまく動くかどうかについてシミュレーションモデルを構築し、実験を行うことによって確認する。うまく動かない場合は再度アルゴリズムを見直し問題点を明らかにした上で再構築を行う。

(d) 研究成果の検討・まとめ

研究成果を検討し、成果をどのようにまとめるかの方針について検討し、検討結果に基づいて、本研究の成果を学会で発表し、論文にまとめる。

4. 研究成果

(1) 作業速度が変動する場合に対する特性解析

具体的に作業時間が確率的変動を伴う自己バランスラインについてバランスをとるための条件を求めることを目的とし、①ステーションが存在する離散的なライン、②流れ作業のラインのような連続的なラインの2つを対象として解析した結果、以下の知見を得た。

① ステーションが存在する離散的なライン

確率的な場合に対する解析の前に、従来研究で行われていなかった作業速度一定に対して解析し、作業者の作業速度と各ステーションにおける作業量との比が一致していない場合には全作業者同一の作業速度でない限り最大の生産率を達成することができないことを明らかにした。また、作業速度が一定の場合において、バッファを設置し、1つのステーション内で複数の作業者による作業を認めた場合(図1)に最大の生産率を達成できる作業者の並びが増加することを明らかにした。

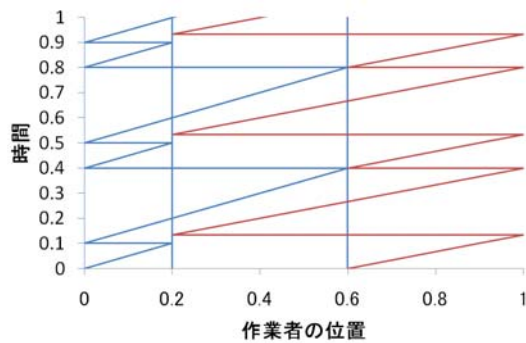


図 1：バッファを導入し複数の作業者の存在を認め条件を緩和したタイムチャート例

② 流れ作業のラインのような連続的なライン

従来研究では作業時間が指数分布に従っているものをガンマ分布に拡張することにより、変動係数が作業者の振る舞い、ラインがバランスする作業者の並びおよび生産率に与える影響を考察し、確率的な変動がラインに与える影響を明らかにした。(図 2)

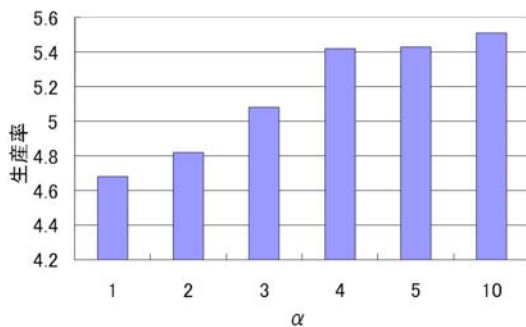


図 2: ガンマ分布 $\Gamma(\alpha, \beta)$ の α 値による $v_1=1, v_2=2, v_3=3$ における生産率の変化

また、作業者の作業の推移を一部制限することにより生産率が向上し、さらに従来の方策よりも良くなる場合があることを明らかにした。(図 3)

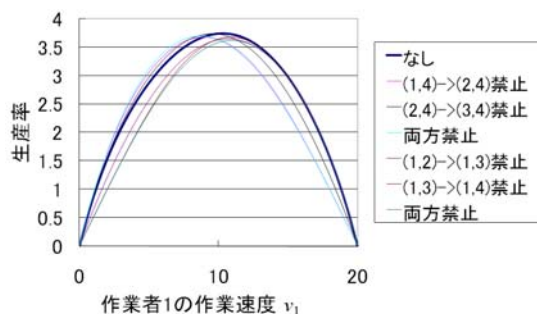


図 3：作業者の作業推移の制限による生産率の変化

- (2) 作業速度が変動する場合に対処できる作業者配置のアルゴリズムの設計
作業速度が変動する場合における作業者

配置の設計法を提案し、その有効性を数値例によって明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Daisuke Hirotsu, Katsumi Morikawa, and Katsuhiko Takahashi, Analysis and design of self-balancing production line with large number of stations and workers, Proceeding of the 8th Asia-Pacific Industrial Engineering & Management System Conference (APIEMS 2008), 査読有, 2008, pp.936-943.
- ② 広谷大助, 森川克己, 高橋勝彦, ボトルネック区間が存在する自己バランスラインの解析, 日本経営工学会中国四国支部研究論文発表会論文集, 15 巻, 査読無, 2008, pp.11-16.
- ③ 広谷大助, 森川克己, 高橋勝彦, 確率的な自己バランスラインにおける解析, 日本経営工学会中国四国支部研究論文発表会論文集, 14 巻, 査読無, 2007, pp.25-30.

[学会発表] (計 3 件)

- ① 広谷大助, 森川克己, 高橋勝彦, 作業速度一定の離散的な自己バランスラインに対する生産率向上の方策, 日本経営工学会平成 20 年度秋季大会, 大阪府立大学, 2008. 11. 18.
- ② 広谷大助, 森川克己, 高橋勝彦, 離散的な自己バランスラインに対する生産方策, 日本経営工学会平成 20 年度春季大会, 電気通信大学, 2008. 5. 11.
- ③ 広谷大助, 森川克己, 高橋勝彦, 離散的な自己バランスラインにおける解析, 日本経営工学会平成 19 年度秋季大会, 小樽商科大学, 2007. 10. 20.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

広谷 大助 (HIROTANI DAISUKE)
広島大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：30432686

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者