

ジャストインタイム生産方式における「水すまし」作業者の効果検証 経営システム工学専攻 松井久俊

Assessment on Operational Efficiency of Mizusumashi in the Just-In-Time Manufacturing

1 はじめに

本研究では、実際に「水すまし」作業者を採用している生産工場をモデルとして「水すまし」という作業方式の効果を検証する。

研究対象とするシステムは、ノートPCの組立生産を行っている工場の組立ラインである。生産システム全体の中で、特に、各組立ラインへの部品の供給、また、組み立てられた製品の回収を行う作業者（「水すまし」作業者）の業務に焦点を当て Arena シミュレーション言語を用いてシミュレーションモデルの構築及びモデルを用いた分析を行う。これにより「水すまし」作業を採用した生産システムの特性について検討する。

2 対象とする生産システム

研究対象とする生産システムの概要を図 2.1 に示す。本システムは、部品置き場、組立ライン、完成品置き場の3つで成り立っている。各ラインには3人の作業者が製品の組立作業を行っている。部品置き場には組立に使われる部品がストックされていて、その在庫は十分にある。研究対象とする生産工場では「水すまし」作業者は、部品置き場と組立ライン間、組立ラインと完成品置き場間を別の作業者が担当し、前者では部品の供給、後者では完成品の回収を担う。



図 2.1: 研究対象とする生産システムの概要

2.1 組立ライン

組立ラインにおいて、組立作業中に必要となる部品は、組立作業者の前にラインに平行に設置された棚に部品ごとにトレーに入れられて並べられていて、部品一種に対

しても複数のトレーが用意されている。手前に置かれているトレーから組立に必要な部品を取っていき、そのトレーが空になったら、棚から取り出し、所定の空トレー置き場に置く。すると、奥に置かれていたトレーが手前にスライドし、組立作業が継続できる。

空トレー置き場に置かれた空トレーは「水すまし」作業者によって随時回収され、部品置き場に持っていかれる。そこで再び補充された後、組立ラインの棚の最後尾に再度供給される。なお供給が間に合わず、組立ラインの棚に組立に必要な部品のトレーが1つもなくなってしまう際には、必要部品の欠品となり、組立作業を行うことはできず生産は一時停止する。

2.2 「水すまし」作業

ジャストインタイムの考え方は「必要なものを、必要などきに、必要な量だけ造る。」である。生産現場の「ムダ・ムラ・ムリ」を徹底的に無くし、良いものだけを効率よく造ることを目指す。そのため組立ラインでは、生産に使用した部品を使用した分だけ前工程に引き取りに行き、在庫のムダや作りすぎのムダを回避する。これを実現するためのプレイヤーとなるのが「水すまし」である。

「水すまし」作業者は、あらかじめ定められた作業スケジュール、巡回経路に従い巡回する。今回対象とする生産システムでは、2種類の「水すまし」がいる。

「組立水すまし」は、各組立ラインの空トレー置き場にある空トレーを回収し、部品置き場において部品を補充、再度組立ラインまで運搬し、棚にトレーを供給する、という一連の作業を繰り返す。

「製品水すまし」は、組立ラインで完成した製品を回収し、完成品置き場まで運搬し陳列する、という一連の作業を繰り返す。

本研究で対象とするシステムでは、トレー、製品の回収・運搬は台車を用いて行う。

3 シミュレーションモデル

今回対象とするノートPC組立生産システムにおける「水すまし」作業の部品供給活動を分析するため、Arenaシミュレーション言語を用いて、シミュレーションモデルを構築した。モデルは大きく分けて組立ラインの生産作業を表すパート、各「水すまし」の作業を表すパート、データ管理をするパートから成る。また、システムのアニメーションを開発し、目で見て「水すまし」の作業の様子を確認できるようにした。

モデルで使用する入力データを表 3.1 に示す。シミュレーション実験終了時に出力されるデータを表 3.2 に示す。そのシミュレーションを実行するために、時間に関するパラメータを定義し表 3.3 に示す。

表 3.1：モデルで使用する入力データ

データ名	内容
組立時間	製品1台を生産するのに必要な作業時間
初期トレー在庫	シミュレーション開始時にトレー棚に存在するトレーの数
トレー容量	シミュレーション開始時にトレー内に存在する部品数
巡回間隔	定時巡回時は時間(分)、需要発生時巡回時は空トレー数
組立水すまし人数	部品の補充、トレーの供給を行う水すましの人数
製品水すまし人数	完成品の回収を行う水すましの人数
生産目標	1就業日中に生産する必要がある生産量

表 3.2：出力されるデータ

データ名	内容
生産台数	作業終了時に生産された製品の台数
ライン稼働率	組立ラインが稼働していた時間の割合
巡回回数	各水すましが各ラインを巡回した回数の合計
水すまし待機時間	各水すましが巡回開始合図が発せられるまで待機していた時間の合計
水すましの生産性	生産量/水すましの実作業時間
実作業時間	生産目標を達成するのに必要とされた時間

表 3.3 時間に関するパラメータ

項目	パラメータ	単位
作業時間	28800	秒
組立時間	NORM(1234/3,123.4/3)	秒
トレー回収時間(PickUpTime)	NORM(30,3)	秒/トレー
トレー補充時間(DropOffTime)	NORM(30,3)	秒/トレー
部品補充時間(RestockTime)	NORM(60,6)	秒/トレー
水すましの移動速度	1	メートル/秒

4 シミュレーション実験

前項で構築したシミュレーションモデルを用いて、「水すまし」作業の作業条件を様々に変更し、生産システムの生産効率をもっとも高める条件を見出すことを目指す。

4.1 実験条件

対象とする生産システムの1日の所定労働時間は480分

である。1日の生産目標は組立ライン数ごとに異なり、組立ライン数4、8、12本でそれぞれ250、500、750台となる。「生産目標達成に必要な時間と所定労働時間との差の絶対値」を比較する。各作業条件においてシミュレーションを10回施行する。

4.2 実験計画

今回の生産システムの作業条件として変更できる要因は、巡回方式、組立ライン数、組立水すましの人数、製品水すましの人数、巡回間隔である。

各「水すまし」は、あらかじめ定められた作業開始合図が発せられると作業を開始し、一連の作業を終えると所定の待機位置にて、次の作業開始合図を待つ。待機中は、組立ラインに空トレーが発生しても回収に向かわない。したがって、組立ラインにおける空トレーの発生状況・組立作業の進捗状況に適合した作業サイクルで「水すまし」が回収・供給を行うことが本生産システムの生産性を高めることになる。そこで巡回スタイルとしては、一定の時間間隔で回収・供給を行う「定時巡回方式」と、一定の空トレーが発生した際に回収・供給を行う「需要巡回方式」を設定した。

組立ライン数は4本、8本、12本の3通りを設定した。水すましの人数は、「組立水すまし」、「製品水すまし」、共に1人、2人、3人の3通りを設定した。以上の要因をまとめ、表 4.1 に示す。

表 4.1：実験計画

巡回方式	組立ライン数	水すまし人数	巡回間隔
定時巡回方式	4本	1人	10分
		2人	10分
		3人	10分
定時巡回方式	8本	1人	10分
		2人	10分
		3人	10分
定時巡回方式	12本	1人	10分
		2人	10分
		3人	10分
需要巡回方式	4本	1人	10分
		2人	10分
		3人	10分
需要巡回方式	8本	1人	10分
		2人	10分
		3人	10分
需要巡回方式	12本	1人	10分
		2人	10分
		3人	10分

※生産目標:1 就業日における生産目標は組立ライン数ごとに異なる。組立ライン数(4、8、12)本:生産目標 (250、500、750) 台

4.3 分散分析

シミュレーション実験によって得られた「所定労働時間と実作業時間の差」の値に対して、定時巡回、需要巡回、それぞれに対し4元配置により分散分析を行った。その際の要因別平均値を図4.1、図4.2に示す。また、巡回方式ごとのその巡回間隔と、「所定労働時間と実作業時間の差」の関係を表すグラフを図4.3に示す

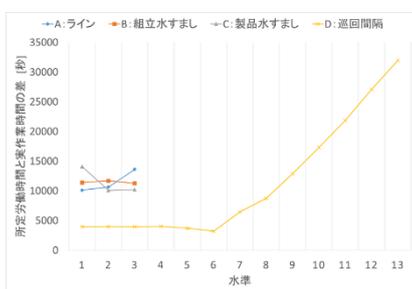


図 4.1: 定時巡回方式における「所定労働時間と実作業時間の差」の要因別平均値のグラフ

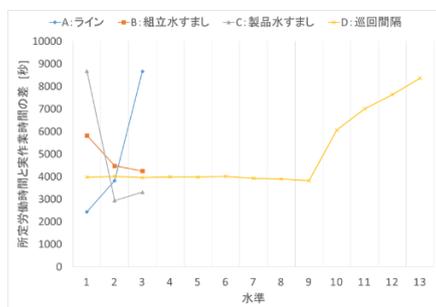


図 4.2: 需要巡回方式における「所定労働時間と実作業時間の差」の要因別平均値のグラフ

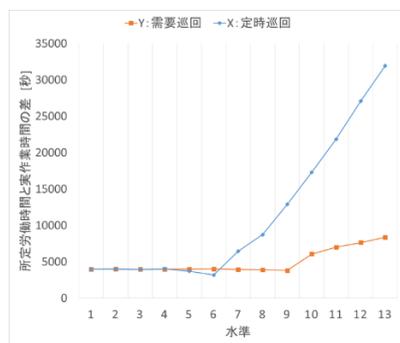


図 4.3: 各巡回方式における巡回間隔と「所定労働時間と実作業時間の差」の平均値の関係

4.4 最適巡回間隔の決定

前項の実験結果より、「所定労働時間と実作業時間の差」を小さくする作業スタイルに関するいくつかの最適な条件についての特性が判明した。

しかし、巡回間隔についてはシミュレーション実験において10分刻みの巡回間隔で結果を出力していたので、実際の最適巡回間隔とはズレが生じていると考えられる。よって、定時巡回、ライン数4本、組立水すまし人数3人、製品水すまし人数2人とし、水準6付近の巡回間隔を細分化しシミュレーションを再度実行した。その結果を図4.4に示す。

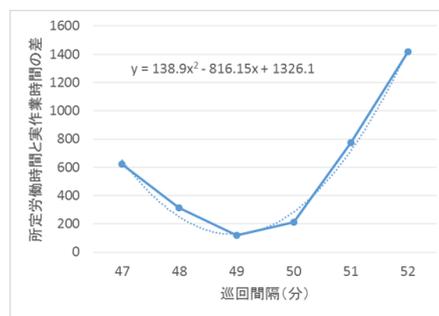


図 4.4: 巡回間隔と「所定労働時間と実作業時間の差」の関係 (図 4.3 における水準 6 付近)

グラフより近似曲線を求め「所定労働時間と実作業時間の差」を最小化する最適値を得た。

最適巡回間隔は、48.9379 分 = 48 分 56 秒 となった。

5 考察

「水すまし」作業の特性に関していくつかのことが分かった。

「所定労働時間と実作業時間の差」を小さくするためには、作業終了が遅すぎてももちろん、早すぎてもいけない。タクトタイムに対応した作業進行が求められる。また巡回方式に関して、基本的に定時巡回方式の方が需要巡回方式より高い生産性を示す。ジャストインタイムの考えに基づけば、空トレイが発生しても定時になるまで動かない定時巡回方式よりも、需要が発生したら即行動する需要巡回方式の方が高い生産性を示すと予想し実験を行ったが、実際は定時巡回方式の方が高い生産性を

示し驚いた。この原因を考察する。各組立ラインの生産速度は同じ分布を用いており、各ラインで空トレイが発生するタイミングはほぼ同時だと考えられる。つまり、組立ライン数だけ空トレイがほぼ同時に発生するので空トレイ回収の需要が短時間に急増する状況が考えられる。需要巡回方式により、需要が発生してから巡回を開始する水すましよりも、定時巡回方式で需要が発生していなくてもライン間を巡回している水すましの方が、この需要急増にうまく対応でき、生産性向上に貢献したのだと考えられる。

実験によって得られた結果から応答曲線を求め、最適な巡回間隔を計算したところ、「所定労働時間と実作業時間の差」を最小化する実験では最適巡回間隔は 48 分 56 秒となった。

6 結言

本研究では、実際に「水すまし」を採用している生産工場の生産システムをモデルに、水すましの動きに特に注目して解析を行った。Arena 上に生産システム内の「水すまし」に関わる部分のモデルを構築し、最適作業条件の特性を調べるためにシミュレーション実験を行い、その結果を解析した。また、「水すまし」の最適巡回間隔については、水すましの生産性に対する応答曲線を求め、そこから最適な巡回間隔を導出した。

実験結果より、シミュレーションを用いて最適巡回間隔を計算することができた。「所定労働時間と実作業時間の差」を最小化する最適巡回間隔は 48 分 56 秒となった。

実際の生産工場では就業時間内に、その時間の生産目標を達成することが重要である。また、生産目標の未達成はもちろんのこと、生産目標以上の作りすぎも避けなければいけない。これはトヨタ生産方式でいうところの「作りすぎのムダ」となり在庫管理費などに悪影響を与えてしまうからだ。

本研究では、生産システムの作業スタイルの違いが、その作業結果にどのように影響するかを見てきた。そのためシステムのハード面（組立作業時間やトレイ容量、ラインレイアウト等）は変えられないものとして実験を

進めてきた。しかし、水すましは組立ライン間を“巡回する”という特別な要素がある。巡回するということは、巡回経路によってその作業の生産効率は変わってくることが予想できる。つまり、組立ラインの組立作業時間の違いによって、短時間に部品を消費する組立ラインには、優先的に水すましを派遣できるような経路やラインのレイアウトにできれば生産性は向上してくると予想できる。組立ラインのライン稼働率を向上させるためには「水すまし」の作業条件だけでなく、様々な物理的条件の変更も重要な要因となると考えられる。本研究で明らかとなった解析結果に加えて、システムの物理的側面の違いに起因するシステム全体や作業者ごとのパフォーマンスの違いをシミュレーションし解析することで、より生産効率が高い作業条件を見出すことができる。そして「水すまし」作業の効果をより詳細に解析することができる。

参考文献

- Kelton, W. D., R. P. Sadowski & D. A. Sturrock, Simulation with ARENA (Third Edition) (2003) (高桑宗右エ門 監訳、野村淳一 訳『シミュレーション—Arena を活用した総合的アプローチ』コロナ社)
- 高桑宗右エ門 (2015) 『オペレーションズマネジメント』中央経済社, No. 12, pp. 183-197
- 大野耐一 (1978) 『トヨタ生産方式』ダイヤモンド社
- 野村淳一 (2004) 「ジャストインタイム生産のマネジメント・システムに関するシミュレーション分析」No. 5, pp. 41-58
- 高桑宗右エ門・三輪冠奈 (2006) 「セル生産・水すまし・かんばん方式援用生産システムにおける部品在庫のシミュレーション最適化」
- 小林幸之助・清水侃 (1982) 「日野自動車の生産方式改善について」『日本経営工学会誌』Vol. 33, No. 1, pp. 60-66
- 門田安弘 (1985) 『トヨタシステム』講談社
- 宮崎茂次・西山徳幸 (1987) 「トヨタ生産システムにおけるかんばん方式の最適運用法」『日本経営工学誌』Vol. 38, No. 2, pp. 126-131