

ACMSA2017 ワークショップ最優秀論文賞を受賞して

松浦 春樹* 浅田 明子**

Receiving the “Best Paper Award for Workshop” at ACMSA2017

Haruki MATSUURA* Akiko ASADA**

1. はじめに

2017 年 12 月 25 日から同 28 日まで中国福州市で開催された ACMSA(Asian Conference of Management Science & Applications) 2017 において、筆者らの発表論文[1]がワークショップ最優秀論文賞(Best Paper Award for Workshop)を受賞した(12月26日付け)。論文名は、“The Effect of an Exclusive-use Line on Line Length in a Mixed-model Line”，邦訳は、「多品種混合ラインにおける工程内バイパスがライン長に与える効果」である。著者は、Yusuke Taira, Haruki Matsuura, Akiko Asada, Kenji Hirano (平良祐介, 松浦春樹, 浅田明子, 平野健次)である。連名者の冒頭3名の所属は神奈川大学工学部、末尾1名は職業能力開発総合大学校である。口頭発表者は平良である。本研究は、経営工学科卒業論文の一環として行われた。なお、連名者の分担は、本研究の実行役が平良、問題点および解析モデルの構築、解析・数値計算支援が卒業研究の指導側としての松浦、浅田、平野はプレゼンテーションを支援した。小文では、指導側の立場から、賞を付与の母体である ACMSA と本論文との関連、論文の背景と意義について紹介したい。

2. ACMSA とは

ACMSA は、日本の大学に在籍し、経営工学や経営科学の教鞭をとられている中国出身の先生方が組織した隔年で開催されている国際会議である。日本経営工学会の後援を受けている。査読付き論文誌として “Asian Journal of Management Science & Application” をもっている。筆者は、北岡正敏名誉教授の紹介で、成都で開催された大会に初めて参加したが、その自由闊達、積極進取な雰囲気につきり魅せられてしまった。今回については健康上の理由から参加を見合わせたが、成都(2011年)、昆明(2013年)、大連(2015年)と、修士の院生諸君と必ず参加し、論文を発表していた。

成都での会議に参加した折、東京都市大学の郭偉宏教授の研究グループが、混合ラインを並列化する研究、ラインツーセル(Line to Seru) [2]で成果をあげているのを知った。当研究室において着手していた、混合ラインを直列に分断する研究と問題意識が似ているので驚いた。現地で郭教授と交わした言葉は、お互いに似たことを始

めていますね、であった。

ACMSA では毎回、このラインツーセルが特別テーマで取り上げられるようになり、筆者らもこの特別テーマのセッションで研究を、昆明、大連、福州と発表した。オハイオ大学の GA Suer 教授も常連である。今回の受賞は、この流れの中にある。ラインツーセルの研究は、国際的広まりを見せて、生産管理で著名な KE Stecke 教授も研究グループの一員である。グループについてオープンスタンスをとられていた。

3. 論文の背景

当研究室では、ここ数年、多品種混合ラインの柔軟性を高める研究に取り組んできた。一本のラインを、複数の小ラインに分断することの効果の研究もその一環である。受賞論文が対象とした工程内バイパスも柔軟性向上のための一方策である。

(1) 多品種混合ラインとは

ライン生産方式は、単一の品種を大量に生産することで、今日の大衆消費社会を生み出した1913年ごろフォード創始[3]とされる生産方式である。これに対して、多品種混合ラインとは複数の品種を同一ラインで生産する方式である。この方式は、1960年代には米国で実践されていたと言う[4]。この方式では、効率と柔軟性を両立できるとされる。柔軟性とは、ある程度異なった製品を同一ライン上で生産でき、品種間の生産数量の調整によって需要の変動を調整し、効率を落とさずに市場の需要に対応できるということである。品種間にはある程度の組立工程の共通度が必要なことはいうまでもない。

多品種混合ラインでは、各工程に割り振られる仕事量が品種ごとに異なるために、工程間に仕掛在庫(静止作業式コンベア方式)か作業域のゆとり(移動作業式コンベア方式の場合)が必要になる。これらの大きさは、品種の投入順序に依存する。受賞論文は、移動作業式コンベア方式を想定しているので、以下の記述では、作業域のゆとりだけを問題にする。

このように多品種混合ラインの計画の要諦は、必要な作業域のゆとりを最小とするような品種の作業時間の各工程への配分と、品種の投入順序を決めることである。

(2) 工程長の決め方

多品種混合ラインの工程長は、どのように決められるのか。教科書的には、サイクルタイムに作業域のゆとりを加えたものである

*教授 経営工学科

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management

**技術員 経営工学科

Technical Staff, Dept. of Industrial Engineering and Management

[5]. 必要な作業域のゆとりは工程ごとに異なるので、工程長は工程ごとに異なるものになる。ところが現実の企業の組立工場では、全工程長を一定にしていることが多いと思われる。組立作業には変更日々があり、そのたびに工程長を変えることは、実際上意味がないのかもしれない[6]。以下に見るように全工程長を一定と仮定しないと、非合理的な実務が存在する。

サイクルタイムとは、完成品がラインオフする間隔である。計画期間長を、その間の総生産計画量で除したものとなる。混合ラインの作業配分の特殊性から、工程ごとにサイクルタイムより大きい作業量が割り当てられる品種とサイクルタイムより小さい作業量が割り当てられる品種が出てくる。したがって、作業者はサイクルタイムの範囲を前後に越えて作業する必要がある。この前後の越境分が作業域ゆとりである。

図1に2つの工程長の決め方を示す。図1の横軸は位置を示し、縦軸は組立品種の投入順序（上から下へ）である。ブロック中のA,B,Cは品種である。各ブロックは各工程での当該品種の着手から完了までの位置を示している。Ctはサイクルタイムである。図1a)の方式では、サイクルタイムに、工程ごとに必要な作業域ゆとりを加えたものが、その工程での工程長となる。この方式では、工程ごとに工程の長さが異なる。図1b)の方式では、サイクルタイムに、全ての工程の中で最大の作業域ゆとりを加えたものが工程長となる。この方式では、全ての工程で同じ工程の長さとなる。

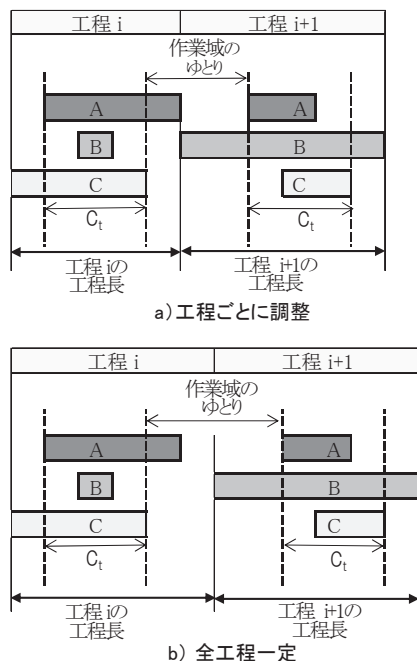


図1 2つの工程長の決め方

(3) 品種間の作業時間差が大きい場合の対策

品種間の作業時間差が大きくて、上記方法では収まらないときに実務でどのような方法がとられているかという点、門田[7]によれば以下のとおりである。言い方を変えれば、以下の方法をとることによって、多品種混合ラインの柔軟性が高まると言うことである。

バトンタッチゾーンを設置する。これは、作業域のゆとりを効率よく使って、全体のライン長を抑えつつ大きな作業時間差に対応

する方法である。最適化研究が行われている。

バイパスラインを設置する。これは、作業時間がとりわけ大きい品目の作業を、当該品目の専用支線であるバイパスラインでながして、品目間の総組立時間の相違を吸収する方法である。これについては、多くはないが研究がある。筆者らも主ラインとバイパスラインの能力のバランスとの視点から成果を上げている[8]。

工程内バイパスは、一本のライン内に、作業時間がとりわけ大きい品目の作業を専門に行う工程を設置する方法である。ここで、バイパスに「工程内」の修飾が付く理由は、主ラインと並行し分岐合流するサブラインを別途設置するバイパスラインと、一本のライン内のバイパスを設置する工程内バイパスを明瞭に区別するためである。2工程使いは、既定の工程長を超える作業量が割り当てられた工程は、2工程を使う方法である。

自由席と呼ばれる方法もある。ライン上に投入される品種に空きを組み込んで、作業時間がとりわけ大きい品目の作業を吸収する。

工程内バイパス、2工程使い、自由席についての学術的研究は、筆者らの知る限りいまだない。門田[7]においても言及は、半ページに至らず、数行のものもある。したがって、どのようなときに効果があるのかを含めて、その設置の実際などは、現場の技術者だけが知る現状である。

(4) バッファの視点

多品種混合ラインでは、各工程において品種ごとの作業時間の混合比による重みづけ平均がサイクルタイムに一致するように、各工程に作業配分が行われる。したがって、各工程の持つ能力はサイクルタイム分である。作業域のゆとりは能力ではなく、品種間の作業時間の差を吸収するためのバッファである。この前後のサイクルタイムを越える分が必要なゆとりである。バッファ（緩衝）とは、計画遂行の妨げとなる外部および内部の環境からの変動を吸収し、変動がなかったかのように計画遂行を容易にさせる目的で準備される機能である。

(5) 受賞論文の問題意識

本論文の出発点は、工程ごとに作業域のゆとりをとる方法をとる限り、どう考えてみても、前記の工程内バイパスが、有効であることはあり得ないことであった。しかしながら、実務で行われているのは、有効であるからであろう。これは、工程長の決め方に秘密があるのではないかと考えた。工程ごとに作業域のゆとりをとる方法に加えて全工程の工程長を一定にする方法において、工程内バイパスを設置した方が、総ライン長が短くなる条件があるのではと推察し、それを探すことにした。

- (1) まず明確にしなければならないのは、工程内バイパスが能力なのかバッファであるのかであった。これが明らかにならないと問題を定式化できない。
- (2) 評価尺度を総工程長として、工程内バイパスを設置することが有効な場合があるのか。あるとすれば、どのような条件下であるか。

4. 解析

(1) 能力かバッファかの定性的考察

まず、工程内バイパスが能力であるかバッファであるかの検討から始めた。図2をご覧いただきたい。工程内バイパスを構成する

各工程に作業者を配置する(これはその工程が能力であることを意味する)と、ある一つの品種だけを専門に扱うのであるから、残りの品種が通過する間、手待ちとなり稼働率は著しく低下する。このようなことが実務で行われることはあり得ない。このようなことを起こさないためには、図2に示すように、工程内パイパスの長さはラインに投入される品種の繰り返しパターンの長さに等しくする必要があるのである。図2では4つの品種を均等な混合比で、投入順序A-B-C-Dで流す場合の作業者の移動状況である。製品Aが工程内パイパス対象製品である。横軸が位置、縦軸が流れてくる品種を目盛とした時間である。工程内パイパスで対象品種Aを受け持つ作業者は、4つのサイクルタイム(4工程長)にわたって品種Aの作業を専門に行う。品種B,C,Dもサイクルタイム間隔で流れてくるので、工程内パイパスで対象品種Aを受け持つ作業者が品種Aの作業を完了した時点で、それぞれ図2の地点に到達している。工程内パイパスで対象品種Aを受け持つ作業者は、工程内パイパスの先頭に戻って、品種Aの作業を開始する。このような考察から4サイクルタイムからなる工程内パイパスの第1サイクルが工程であって、2~4のサイクルタイムは作業域のゆとりと解釈すべきである。作業負荷の視点からの説明は、第1サイクルに4サイクルタイム分の品種Aに作業を負荷し、品種B,C,Dによる負荷をゼロとする(一品種あたりの負荷はサイクルタイム分となる)。このアンバランスを次工程に波及させないために3タイムサイクル分の作業域のゆとりが必要である、となる。

(2) 工程内パイパスの作業負荷モデル

図3に、(1)の考察に基づく作業負荷モデルを示している。図3では2つの品種A,Bを扱う混合ラインを想定している。混合比は2:1である。同図の横軸は、工程もしくはサイクルタイムである。縦軸が、品種Aを2個、品種Bを1個分の作業負荷を示す。3サイクルタイムで投入順序が繰り返されるので、3サイクルタイム分の負荷を示している。工程内パイパス対象品種はBである。図3a)は工程内パイパスによる負荷状況である。i-1, i+1の両工程には品種AとBが負荷される。i工程は工程内パイパスであり、品種Bだけが負荷される。i工程に続く2工程分の領域は、i工程の作業域ゆとりである。図3b)に工程内パイパスを使わない通常の負荷状況を示す。

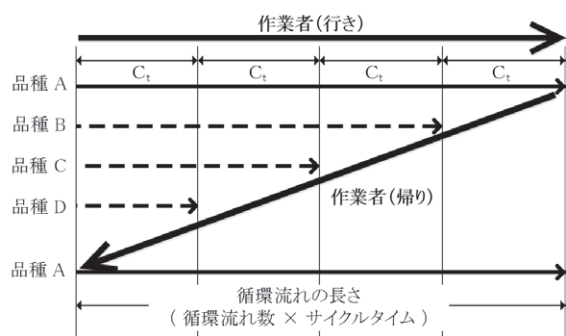
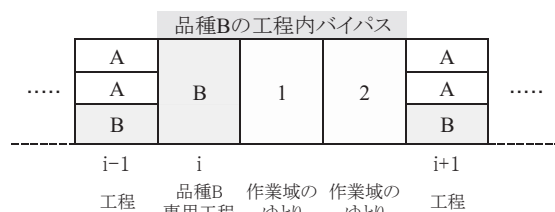


図2 工程内パイパスにおける作業者の動き



a) 工程内パイパスを設ける場合の作業負荷



b) 工程内パイパスを設けない場合の作業負荷

図3 作業負荷の視点から見る工程内パイパス

(3) 問題の定式化

2通りの工程長の決定方式(工程ごとに調整, 全工程同一長)の下で、工程内パイパスを設ける場合と設けない場合の総ライン長を求めることによって、工程内パイパスの効果を解明する。問題は組合せを含むため、当研究室で開発した多品種混合ラインのライン長の品種の投入順序全てについての下界[8]を使ってアプローチすることにした。このアプローチによれば投入順序に依存しない結論が得られる。このアプローチは、生産管理の常道である、負荷を計画したのちに、順序を計画することに、則っている。

5. 得られた成果

工程長を工程ごとに調整する場合については、総ライン長の下界の数式解を得た。図4に結果を例示している。図4では、混合比は1:3を想定している。品種はAとBの2の品種、サイクルタイムは10、工程数は3である。横軸は、品種AとBの組み立て時間合計に対する品種Aの加工時間の割合を示す。縦軸は総ライン長の下界である。

図4に見るように、工程長を工程ごとに調整する場合については、工程内パイパスによって下界が改善されることがないことを、前記の数式解を用いて証明できた。この結果は、正確には下界についての結果ではあるが、前述のように各品目の総加工時間を均等に工程に配分する場合は、下界と実際値が一致するので、この結果は実務に一定の価値を提供するものと考えている。

全工程同一長の場合には、総ライン長の解を陽にはできず、関係式の形にとどまった。総ライン長を数値計算した結果を図5に例示する。諸条件は、図4と同一である。工程内パイパスによる方が、総ライン長が短くなる条件があることを示している。

以下に、全工程同一長の場合に工程内パイパスが有効な場合がある理由を定性的に述べる。作業負荷が飛びぬけて大きな品種があると、工程内での品種間の作業負荷の差が大きくなり、必要作業域ゆとりが大きな工程が出現し、全工程同一の工程長が大きくなるために総ライン長が大きくなる。これに対して工程内パイパスを設ければ、作業負荷がとびぬけて大きな品種の作業負荷の一部を工程内パイパスが吸収することになり、パイパス工程以外の工程における品種間の作業負荷の差を小さくできる場合がある。このとき全工程

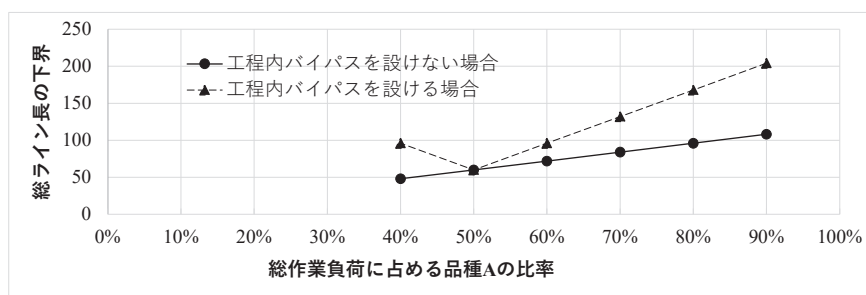


図4 工程長を工程ごとに調整する場合の工程内バイパスによる総ライン長の下界

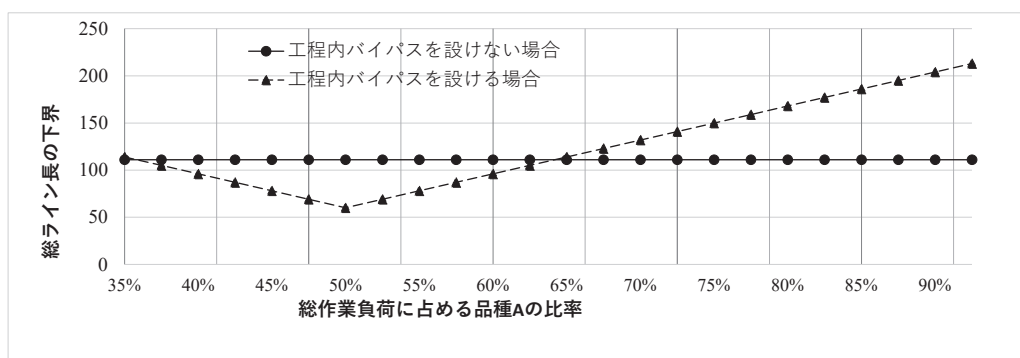


図5 工程長を全工程長一定とする場合の工程内バイパスによる総ライン長の下界

同一の工程長を小さくできるので、総ライン長が短くなるのである。また、本研究とは別途の2工程使いの研究[9]と、本論文による成果を併せて、実務で使われる2工程使いと工程内バイパスが根本的に同じものであることが明瞭になった。

6. おわりに

工程内バイパスが効果を発揮する条件を検討した結果、工程長を工程ごとに調整する教科書的な場合ではなく、全工程同一長の場合に限ることを明確にした。既存の研究がなかったのは、工程内バイパスが工程なのか作業域のゆとりなのかははっきりせず、問題の定式化が困難であったためである。この点をクリアした後は、高校数学のレベルで有益な結論を導くことができた。今後の展開であるが、工程内バイパスがバイパスを一本のライン内に用意するのに対して、バイパスを主ラインとは別ラインとして用意するバイパスラインと、どちらがどのような条件下で有利であるのかを明らかにする必要がある。

方式の選択基準を明瞭にすることは工学の社会に対する貢献の一つであろう。方式の選択基準の観点からは、生産管理分野はまだ未熟である。選択基準が経験則にとどまる場合が多い。方式を固定して、パラメータを最適化することと併せて、方式選択の基準を明らかにすることは貴重と思う。今回の受賞はこの点が評価されたものと考えている。

本研究に意欲的に取り組み、指導側を大いに刺激し、成果をあげてくれた平良祐介君（現レノボ・ジャパン(株)）に感謝する。

参考文献

- [1] Yusuke Taira, Haruki Matsuura, Akiko Asada, and Kenji Hirano, The Effect of an Exclusive-use Line on Line Length in a Mixed-model Line, 2017 Asian Conference of Management Science & Applications (2017. 12)
- [2] Ikou Kaku, Jun Gong, Jiafu Tang and Yong Yin, A Review: Practice and Theory in Line-Cell Conversion, Waldemar Grzechca ed. Assembly Line - Theory and Practice, pp.107-130, InTechOpen, Rijeka, Croatia – EU (2011).
- [3] Christoph Roser, “Faster, Better, Cheaper” in the History of Manufacturing: From the Stone Age to Lean Manufacturing and Beyond (1st ed.), Productivity Press, (2016).
- [4] Dan Coffey, The Myth of Japanese Efficiency: The World Car Industry in a Globalizing Age, Cheltenham and Northampton, MA: Edward Elgar (2006).
- [5] 村松林太郎, 新版生産管理の基礎, 国元書房 (1979).
- [6] Donghao Zhang, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Effect of splitting a mixed-model line on shortening the line length under open- and closed-boundary working area settings AIP Conference Proceedings 1829, Issue 1, 10.1063/1.4979767 (2017.04).
- [7] 門田安弘, トヨタプロダクションシステム：その理論と体系, ダイヤモンド社(2006).
- [8] Sho Matsuura, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Making a mixed-model line more efficient and flexible by introducing a bypass line, AIP Conference Proceedings 1829, issue 1, 10.1063/1.4979768, (2017.04).
- [9] 平田大輔, 多品種混合ラインにおける2工程使いの効果, 神奈川大学工学部経営工学科卒業論文 (2018).