

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560008

研究課題名(和文)バーチャル・リアルデータ比較に基づく生産財製造現場の分析とデザイン

研究課題名(英文)Analysis and design of the manufacturing field of production machines using the comparison of virtual and real data

研究代表者

松原 厚 (Matsubara, Atsushi)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80243054

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：自律分散的な生産活動を行っている工作機械の製造現場を対象として、生産システムの変動要因と現場の動的な計画方法を考慮した製造シミュレータの構築を行い、シミュレーション結果を現場データ(作業効率、工程納期遵守率)と比較して、作業設計ルール、作業因子の生産性への影響を分析した。現場職長の差立の影響においてはマルチタスクの割り付けの効果が実作業時間予想誤差より影響があり、作業者のスキル向上の段階では一時的に生産効率が低下することが示された。

研究成果の概要(英文)：In the real assembly fields of machine tool production, the schedule made by a production management department is often re-scheduled by the manager of the real production field, which could be understood as an autonomously distributed production system. To analyze its complex mechanism, a production simulator was developed and the simulated results were compared with the real data on several production criteria. It was found that the multiple-work assignment could provide better production results than precise-estimation of working time and the productivity decreases until the workers acquire another work skill perfectly.

研究分野：生産加工

キーワード：生産システム 工作機械 組立

1. 研究開始当初の背景

生産財製造分野は、日本企業がグローバル市場で強い競争力を保持している分野である。その代表的な製品のひとつである工作機械もまた、日本が世界で大きなシェアを持つ業界である。自動車等の消費財生産と異なり、工作機械の生産には、1)需要変動が大きく、2)サプライチェーン上における不確実性が高く、3)作業者の熟練度により、作業内容と作業時間にばらつきが生じやすいという特徴がある。したがって、生産管理部門が作成する生産計画にもとづいて、生産現場で作業を行う際に、リスケジューリングや現場同士の交渉によって生産遅延を防止している。このような現場の自律分散的な活動は現場力と称せられ、日本的な生産の競争力になっている。しかし、その反面、生産管理部門が生産現場におけるリスケジューリングの実態や真の生産能力を把握することを難しくし、結果として、生産管理部門が把握する稼働状態と、実際の稼働状態に齟齬が生じる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、自律分散的な生産活動を行っている工作機械の製造現場を対象として、生産システムの変動要因と現場の動的な計画方法を考慮した生産シミュレータの構築を行い、シミュレーション結果を現場データ（作業効率、工程納期遵守率）と比較して、作業設計ルール、作業因子の生産性ならびに生産状態への感度を分析する。生産シミュレーションは管理部門で得られる統計値を利用し、その結果を作業現場で得られる情報と比較するために統計解析、可視化などのツールの開発を行う。この比較により、スケジューリングルール、作業ルールといった計画に関する基本事項の形式知化を行い、生産現場の特徴を活かした生産管理・生産組織の在り方について考察を行う。

3. 研究の方法

(1) 生産シミュレータ

図1に生産プロセスのモデルを示す。生産計画が与えられると、部品調達、機械加工、ユニット生産の各部門はそれぞれの活動を行い、その後続プロセスとして組立がスタートする。組立部門の活動を模擬するために、管理部門が作成した生産スケジュールに対して、バーチャルな職長が一定時間内に作業割り当ててスケジュールを作成し、バーチャル作業者が作業を行うといったシミュレータを開発した。各部門の活動結果は欠品率という形で組立部門に影響すると考え、組立部門では下記の形式知や変動要因を与えた。

- ・作業の標準時間
- ・作業者の組織編成とスキル
- ・残業時間
- ・作業スペース不足
- ・作業者の欠勤

- ・手戻り作業発生率と手戻り作業時間
- ・部材欠品（他部門の影響）

特に作業障害パラメータ（欠勤、手戻り、欠品）については、生産管理情報から統計値から、乱数を使って数値化して発生させる。シミュレーションの対象とした組立工程は、全部で9つの工程で構成されており、機種により作業時間は異なるが、組立工程の作業内容は類似している。機種は、全部で7機種あり、そのうち1機種は1工程を除く8つの組立工程で構成されている。

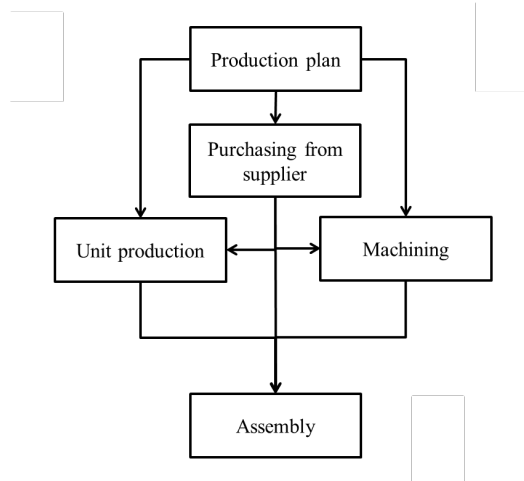


図1 製造プロセスモデル

(2) 差立のモデル化

前述した要因以外に生産計画や進捗に大きな影響を与えているのが、現場職長の作業員への作業割り付け、すなわち差立の技能である。差立規則はこれまで多くの研究が実施されている。しかし、現場でどのような運用しているかを調査した研究はない。本研究ではまず現場での聞き取り調査を行った。その結果、比較的単純な差立規則を基本としつつ、時々状況に応じて運用を変えていることが明らかになった。この結果を参考に生産シミュレーション中では、明らかとなった運用パターンを組合せて4通りの差立方法を設定し、検証することとした。

- (a) SAS (Single-work Assignment on ST) 作業工数を標準時間 ST で作業時間を見積る。作業員の割り付けは1日1工程のみとする。
- (b) SAW (Single-work Assignment on WST) 作業工数の見積もりは実際の作業時間 WST (実績)にもとづいて行う。すなわち、差立時間の見込作業時間と実際の作業時間に乖離が発生しない。作業員の割り付けは(a)と同様に、手待ちが発生する場合でも、1日1作業のみを指示し実行させる。
- (c) MAS (Multiple-work Assignment on ST) 作業工数の見積もりは(a)と同じく ST にもとづいて行う。作業員の割り付けは、ある作業を終えた後、手待ち時間が発生すると見込まれる場合には、次の作業を指示しておく。結果として、一日に複数回の作業を指示となることがある。

(d)MAW (Multiple-work Assignment on WST) 作業工数の見積もりはWSTにもとづいて行う。作業者の割付は、ある作業を終えた後、手待ち時間が発生すると見込まれる場合には、次の作業を指示しておく。結果として、一日に複数台の作業を指示となることがある。

(3)生産評価

評価は稼働率ARと納期DTの2つの指標で行った。稼働率ARは、作業者が当月に行った調整作業時間を含む組立作業時間ATを作業者の当月の総労働時間WTの合計で割った比率とした。稼働率が高いほど、労働時間に占める作業時間が多いことを意味するため、手待ち時間が少なく、労働時間をより効率的に使用しているといえる。納期DTは、各月末時点での実績と生産シミュレーションによって計算された完了日との差とした。

4. 研究成果

(1)シミュレーションと実データの比較

図2にSAS, SAW, MAS, MAWの4つの差立条件の稼働率、および実際の組立現場の稼働率(ACと表記)を示す。同図より、SASとSA, MASとMAWは、それぞれほぼ同等の稼働率であり、複数台作業指示を与えることが稼働率を高めていることがわかる。7月から11月にかけてはSASがSAWをわずかに上回っている。MASとMAWはほぼ同等で、7月、8月、1月においてMASの方がわずかにMAWを上回っている。また、ACはSASおよびSAWとMASおよびMAWの間を変動しながら推移している。

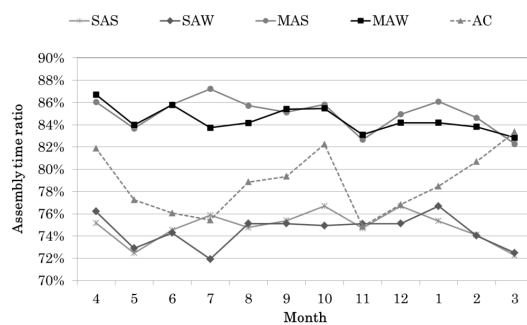


図2 稼働率の比較

図3に同様に納期の比較を示す。横軸は月番号を示し、縦軸は当該月の機械1台あたりの乖離日数を示す。正の日数は、生産シミュレーションモデルの結果が実績よりも進捗していることを示し、負の日数は、生産シミュレーションの結果が実績よりも遅れていることを示す。MAWおよびMASはほぼすべての月で実績より早く進捗しておりかつ同等の数値を示している。一方、SAWは、実績に比べて遅れる月が多くなっている。SASはすべての月で大きく遅れている。すなわち作業時間の見込精度による納期遅延への影響は非常に小さい一方で、複数台作業を指示しない場合、納期が大きく遅延する方向に影響することがわかった。

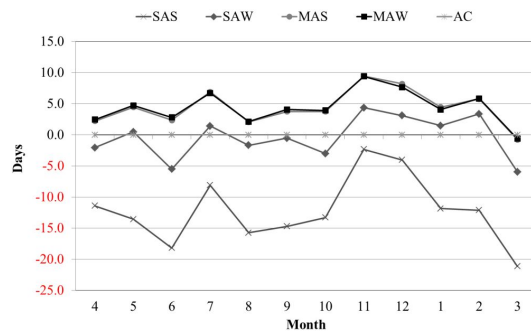


図3 納期の比較

従来の研究では報告されていなかった実データとの比較のもとで以下の考察を得た。職長の差立の内容やその実行の可否も人間の行動に依存したものであり、ばらつきが生じると考えるのが自然である。つまり、差立の技法そのものと、その実行を推進するという2つの要素があり、それらの影響があることも考慮に入れる必要がある。その前提にたてば、実績値が最も熟練した場合と単純な場合の間を推移していることから、この生産シミュレーションは一定の範囲内で現実を反映した生産シミュレーションであると考えられる。

(2)要因解析

生産シミュレータが生産システムの特徴を捉えているということがわかったので、これを用いて種々の要因の生産性に与える影響を考察した。以下に結果のみをまとめる。(a)部品の欠品率は、値が大きくなるほど納期や稼働率が悪くなる方に影響する。欠品率が改善すれば、納期・稼働率ともに改善する。(b)組立スペースを増やすことは必ずしも納期の改善にはつながらない。特にMASにおいては、スペースが減ることにより、複数人作業化によるリードタイム短縮を促したことにより、納期および稼働率が改善した。但し、稼働率の増加分は残業時間によるものであった。

(c)手戻り発生確率が大きくなった場合、SASを除く3つの差立方法では、納期は維持されたが、残業時間が増加した。SASでは納期が悪化した。

(3)組織としてのスキルフォーメーション

変種変量生産のため、必要人員やスキルに変動が生じる中で、作業員組織をいかにデザインするかは、効果的な生産能力の確保の観点から、重要な経営課題の一つである。作業員組織のスキルパターンとして、以下のA~Fの6つのパターンを設定した(表1)。A~Eは、ある工程の作業スキルを持った作業員が、他工程の習熟をしていく段階と見立てられる。詳細は下記のとおりである。

A:各作業員がどれか1つの工程に対してスキル1を保有する。

B:各作業員がどれか1つの工程に対してスキ

ル1を保有し、かつ他の1つの工程でスキル0.5を保有する。
 C:Bに追加して同じスキル分類でもう1つの工程でスキル0.5を保有する。
 D:Bのスキル0.5工程を1とする。
 E:Dに追加して同じスキル分類でもう1つの工程でスキル0.5を保有する。
 F:各作業者が関連するグループの工程に対してスキル1を保有する。

図4～6にSAS, SAWのそれぞれの差立方法に対して、スキルパターンごとのシミュレーション結果を示している。ただし、比較のためAの結果を1として、他の結果を比較している。差立方法の観点からは、SAWの方がSASに比べて納期は早い。また、稼働率、総残業時間についてはSAS, SAWとともに各差立に対しては同様の傾向が見られる。一方、スキルパターンの観点からは、SASでは作業可能なスキル0.5の工程が増えていくにしたがって、納期および稼働率の指標は悪化する(B, C, E)が、残業時間も少なくなる。これは、スキル0.5の工程が割当たった場合に作業効率が下がり、結果として全体の遅れが増幅してしまうためと考えられる。すべてのスキルが1まで習熟すると、納期、稼働率ともに向上する。一方、SAWでは、すべてのスキルが1の場合は納期、稼働率が高くなるが、それ以外のスキル0.5が追加されるパターンでは、納期はAの場合と比べて大きな差はなく、残業時間が下がる傾向が見られた。

表1 スキルバランスシミュレーション条件

Formation	Skill stage of each worker
A	skill 1
B	skill 1 + skill 0.5
C	skill 1 + skill 0.5 + skill 0.5
D	skill 1 + skill 1
E	skill 1 + skill 1 + skill 0.5
F	skill 1 (all in the relevant category)

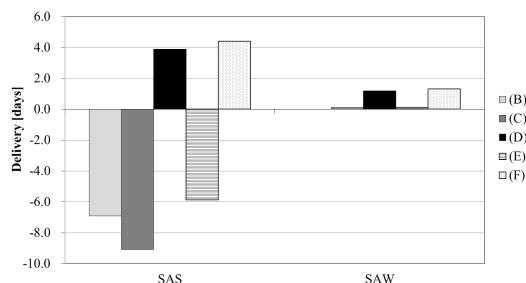


図4 納期

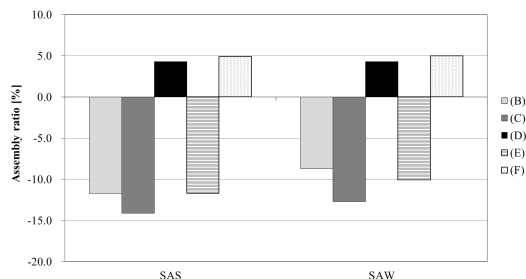


図5 稼働率

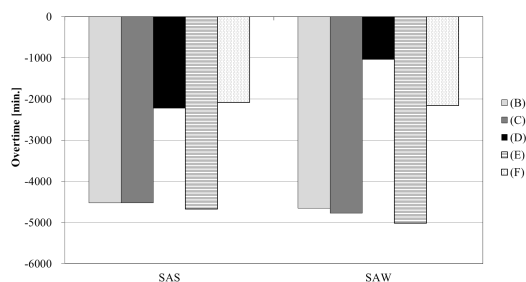


図6 残業時間

以上は、国内のある工場のある機械の組立現場をシミュレーションした結果ではあるが、個々の現場に対して、技能にサポートされた生産力を維持する問題に対して、生産シミュレータと現場データと組み合わせながら組織を含む生産システムをデザインできることを示唆している。

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)

Masahiko Mori, Keiichi Ota, Atsushi Matsubara, Hajime Mizuyama, Design and formation of workforce skills for machine tool assembly, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.64, Issue 1, 2015, pp.459-462
 doi:10.1016/j.cirp.2015.04.113

太田 圭一, 松原 厚, 水山 元, 工作機械の組立における生産現場の適応メカニズムの解析, 精密工学会誌, Vol.80, No.9, 2014, pp.856-861
 doi:http://doi.org/10.2493/jjspe.80.856

Keiichi Ota, Atsushi Matsubara, Hajime Mizuyama, Analysis on Dynamic Machine Tool Assembly, Proc. of International Symposium on Flexible Automation

(ISFA2014), 2014(July), Awaji-Island
(Hyogo, Japan)

〔学会発表〕(計 2 件)

Keiichi Ota, Design and formation of
workforce skills for machine tool
assembly, CIRP 2015 65th General
Assembly, 2015.08.26, CTICC (Cape Town,
South Africa)

Keiichi Ota, Analysis of Dynamic
Machine Tool Assembly, ISCIE/ASME 2014
International Symposium on Flexible
Automation(ISFA2014), 2014.07.14,
Awaji-Island (Hyogo, Japan)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

松原 厚 (Matsubara, Atsushi)

京都大学大学院工学研究科 教授

研究者番号: 80243054

(2)研究分担者

なし.

(3)連携研究者

水山 元 (Hajime, Mizuyama)

青山学院大学 理工学部 教授

研究者番号: 40252473

(4)研究協力者

太田 圭一 (Ota, Keiichi)

DMG 森精機株式会社 販売・在庫・生産企画

部 部長

研究者番号: なし

森 雅彦 (Mori, Masahiko)

DMG 森精機株式会社 代表取締役社長

研究者番号: なし