

製造プロセスにおける人員配置がその性能へ与える影響の シミュレーションによる検討

立命館大学 鈴木 陽一郎, 南カリフォルニア大学 金 雁, 千葉大学 小山 秀夫

製造現場においては、グローバル化による低価格競争のために、特定の生産ラインに特定の人員を長期間にわたって配置する固定的な人員配置ではなく、変動する需要に応じてその都度他の生産ラインへ人員を異動させる流動的な人員配置を行っている。その一方、流動的な人員配置は、作業によっては十分に技能が習熟する前に人員が異動となってしまう、その結果それら作業を行える人員が限られてしまうという問題を生じている。そこで本研究では、実際のアルミダイカスト製造プロセスを対象にして、人員配置がそのプロセス性能へ与える影響についてシミュレーションによる検討を行った。シミュレーションには、本研究グループが開発したPMT (Process Modeling Technology) システムを利用し、定量的な検討を行った。

A Simulation-based-approach for Examining the Influences of Human Resource Allocation on Manufacturing Process Performances

Ritsumeikan University Yoichiro SUZUKI,

University of Southern California Yan JIN and Chiba University Hideo KOYAMA

Abstract: The cost competitive market due to the globalization no longer allows managers of manufacturing processes to allocate their human resource in a same manufacturing process for a long period of time but forces to flexibly reallocate them in other processes corresponding to the market demands. On the other hand, the flexible human resource allocation disturbs the skill development of some operations and limits the number of skilled human resources regarding the operations. In this paper, we propose and demonstrate a simulation based approach to examine the influences of human resource allocation on the manufacturing process performance. In this research, we apply PMT (Process Modeling Technology), which is a simulation system our research group developed, and target an actual aluminum die casting process as an example.

Keywords: simulation, human resource allocation, risk factors, predict, quantitative analysis

1. 研究目的

PDCA サイクルによる試行錯誤的なアプローチは、これまで多くの生産現場で、その生産プロセスの能力(生産性、効率、および品質など)を向上させてきた。これらは、生産工程の部門を単位とした小集団による継続的な改善活動により、作業員の技能向上だけでなく、人員配置、生産計画など、その生産プロセスの計画に関する知識の蓄積にも大きく貢献してきた。これら知識は、現場マネージャーにとって、需要変動などの環境変化や、作業員の配置転換(配転)などの生産プロセス構成の変更が、生産プロセスの能力へ与える影響について予測し、変更後の生産プロセスを検証するための重要な裏付けとな

っていた。しかし、これら既存の手法では、グローバル化した現在のマーケットに対応するためには次の様な問題がある。まず、試行錯誤による従来のアプローチでは、現在の変化のスピードに対応できない。次に、劇的な変化による全く新しい環境や、生産プロセスの新規計画など、蓄積した経験や知識では対応できないケースが増加した。更に、需要変動に対応した頻繁な人員配転により、従来手法による知識の蓄積が困難となり、またそれら知識を継承したマネージャーも不足している。

そこで本研究では、シミュレーションによる定量的な分析及び予測で、現場マネージャーの意思決定を支援する手法を提案する。具体的には、技能習熟期間が異なる2種類の加工機とその作業で構成され

A Simulation-based approach for Examining the Influences of Human Resource Allocation on Manufacturing Process Performances

る生産プロセスを対象に、人員配置を生産ラインごとから加工機ごとへ変更した場合、その変更が生産性、歩留まり、及び効率などのプロセス性能へ与える影響について、シミュレーションによる予測を行った。対象となる製造プロセスは、実在の鋳造部品製造プロセスを参考とし、これをその他生産プロセスに広く適応できるよう一般化している。また、生産ラインごとの人員配置は、その人員の技能習熟期間が長いことから従来の人員配置とし、加工機ごとの人員配置は、全ての作業に習熟した人員数が従来の半分で済むことから頻繁な配転に対応した変更後の人員配置方法として想定している。本研究に先だって調査を行った製造プロセスでも、従来のように技能レベルの高い人員を生産プロセスごとに固定することができず、経験の浅い人員と混合で加工機ごとに配した場合、どの様な影響が出るのかについて懸念していた。

2. 従来の技術と本研究の特徴

離散型シミュレーションは、事象をモンテカルロ法などにより離散的に発生させ、これを待ち行列で一定時間保持した後に開放する動作によって、ビジネスにおける仕事の発生とその処理を模擬することができる一般的な技術である。また、谷水ら[1]は、オープンショップスケジューリング問題を、共進化遺伝的アルゴリズムを用いたりアクティブスケジューリング手法による解決を提案している。これらはアルゴリズムに基づいた数値シミュレーションによって、生産能力（量）において最適なスケジュールを探索する。しかし、現状において利用可能な生産資源（作業員など）の特性、生産プロセス及びそれを構成する作業の特性など、生産プロセスの性能へ影響する要素のリスク検討を行ったり、その過程で得られる知識を現場マネージャーへ還元したりするものではない。満行ら[2]は、ShareFast[3]で記述した設計プロセスを、作業員の技能特性の影響を加味した組織モデルを用いたシミュレーションによって評価し、スケジュールの点で最適な設計プロジェクト

の人員配置を探索する手法を提案している。本手法は、シミュレーションに利用可能な人員の技能特性を加味することで、運用上効果的な人員配置の探索を可能にした。しかし、これら研究では、特定の製品の製造スケジューリングに焦点があり、品質及び効率（コスト）間のトレードオフの様な問題は議論されない。また、様々なタイミングで且つ様々な注文を発生する市場についてのモデルが存在しないため、市場環境の変化など外部環境が生産プロセスへ与える影響についての検討が考慮されていない。更に、作業の処理において副次的に発生するかもしれないミスや失敗などの例外的事象への措置や、これに関わる報告・意思決定などの調整、及びコミュニケーションなどの情報交換など、目的の作業以外に処理すべき事象が生産プロセスに与える影響の様な、不確実性によるリスクについても考慮していない。これらを踏まえた上で、変化する環境に対する生産プロセスの性能について予測を行い、その予測結果から生産プロセスに関する知識を獲得するためには、次の技術的要件も満足する必要がある。まず、様々な市場環境における生産プロセス性能に関する知識を短期間に獲得することができるよう、シミュレーションモデルに市場環境を反映することである。次に、生産プロセスの設定、その性能、および市場環境を関連付けた場の知識を、シミュレーションという仮想的な経験を通して獲得できるよう、シミュレーションモデルにおいては生産プロセスの構成要素とその特性を、シミュレーション結果においては生産プロセス性能を、それぞれ明確に定義することである。本研究で使用したシミュレーション技術[4][5]は、クライアント、組織、サービス、リソースのクラス関係で企業ビジネスをモデリングする基本構造モデルと、クライアント変数軸、エンタープライズ変数軸、パフォーマンス変数軸によるPMT評価空間で生産プロセス性能を評価する手法により、それら技術的要件を満足する。また、シミュレーションモデルの動作として、事前に定義された仕事の発生及びその処理だけでなく、これら発生した仕事を処理する過程で2次的に発生するかもしれないコミュニ

ケーション、失敗やミスなど思いがけない結果としての例外、その上司への報告、及びその対策としての意思決定、意思決定に従った措置など、生産プロセスにおける不確実な要素の影響もシミュレーションモデルに考慮している。更に、これら要素に関連して、組織特性としての意思決定の高さや、コミュニケーションへの姿勢としての部門間の風通し、仕事における優先順位のルールなど、仕事や2次的に発生したコミュニケーションなどを処理する人員の動作についてのモデルも定義している。これら静的及び動的モデルの存在により、本手法は、特定の人員配置やプロセスについて、発生させた仕事の処理の良否を判断するだけでなく、コミュニケーションラインの方法、意思決定ネットワークとしての組織構造の在り方、意思決定の高さなど組織特性の生産プロセス性能(例えば品質と生産量のトレードオフ)などを考慮した生産プロセスの評価及び検討が可能である。

3. PMT(Process Modeling Technology)の概要

PMTは、その静的及び動的モデルの構造に大きな特徴がある。

まず静的モデルは、業務プロセスの概念を構造化したもので、PMTの基本構造モデル(図1)である。業務プロセスは、顧客などクライアントからの要求を処理するシステムであると定義し、様々なクライアントの要求(COP:クライアント・オペレーション)に応じて業務プロセスをそれぞれ関連付けることができる。COPは、クライアントの要求の発生源で、発生頻度などその特性に従って要求を発生し、これを対応する業務プロセスへ送信する。業務プロセスは、組織モデル、プロセスモデル、リソースの集合として定義される。組織モデルにおいて、組織は、チーム及び役職など組織の構成メンバー(ポジション)とその間の報告・指示関係のネットワークで定義される。プロセスモデルは、顧客からの要求を処理するのに必要な作業(SOP:サービス・オペレーション)とそれら作業間によって定義さ

れる。組織モデルの構成メンバーであるポジションとリソースモデルのリソースは、業務プロセスを実行するための資源として定義される。

次に、動的モデルは、業務プロセスで行われる処理、報告、指示、意思決定などの動作や、失敗、ミーティングなどのイベントと、それらへの影響関係を定義したもので、具体的には基本構造モデルで定義された要素が行う動作と、その結果発生するイベント及びこれらが受ける影響の関係を定義している。PMTの基本動作モデルは、組織を情報処理システムとして捉えている[6][7][8]。よってポジションは、顧客からの要求の処理作業同様、それら作業に派生して生じる例外についての意思決定、及びコミュニケーションなど情報処理作業も行う。あらかじめ定義された作業も含めこれら情報処理を行う際に、ポジションは、特定の選択ルール[5]に従って、どの処理を行うかその順序を決めている。例えば、営業職などでは、コミュニケーションを優先的に処理するかもしれないし、あるいは専門職では、目の前にある決められた仕事を優先的に処理するかもしれない。更に、特定の仕事については、他より優先的に処理することが多いかもしれない。例外及びコミュニケーションの発生確率は、実行する作業の難易度、ポジションの技能レベル、及び作業間の情報依存性[8][9][10]に応じて変化する。これら明確な構造定義と動作定義によって、PMTは、業務プロセスの構造とその構成要素の特性が、処理時間や処理能力など業務プロセスの性能に与える影響を、不確実性[11][12][13]を加味して検討することを可能としている。

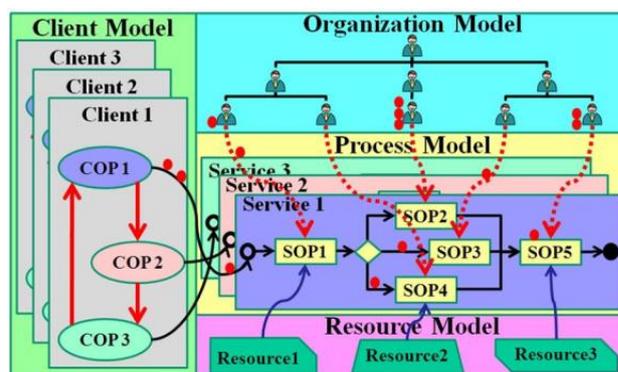


図1 PMT基本構造モデル概念

4. シミュレーション

4.1 対象となる製造プロセス

対象となる製造プロセス（図 2）は、5 つの作業によって構成される。まず、1 次加工機を操作し（① 1 次操作）材料の 1 次加工を行う。例えば、アルミダイカスト鋳造機による鋳造工程の様な作業である。この時、1 次加工と同時並行に、温度、音、材料状況、湿度などその加工状況が分析（②1 次分析）され、その分析に基づいて 1 次加工機の操作は行われる。1 次加工品は、2 次加工の前に目視による品質見極め（④検査）を行い（例えば、割れや、不純物の混入、気泡などの有無の確認）、合格した場合は 2 次加工機の操作（⑤2 次操作）による 2 次加工（例えば、裁断機による裁断作業）を行う。その一方、品質見極めにおいて 1 次加工品に不良が発生しているなど、必要と判断された場合は 1 次加工機を停止し、これを調整（③1 次調整）する。例えば、鋳造工程の場合、鋳型の交換、清掃などである。①1 次操作、②1 次分析と③1 次調整、そして④検査と⑤2 次操作は、それぞれ 1 次加工機及び 2 次加工機に関する作業である。

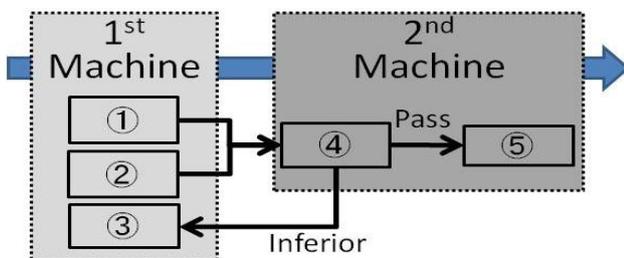


図 2 製造プロセス概観

4.2 人員特性

この製造プロセスに配置される人員の技能特性を、その経験年数に応じてそれぞれ表 1 に示すように想定した。

表 1 人員の経験と習得技能の関係

	人員経験	36 ヶ月	6 ヶ月
	人員技能状況 高い・普通・低い	① 1 次操作	普通
	② 1 次分析	普通	なし
	③ 1 次調整	普通	なし
	④ 検査	高い	普通
	⑤ 2 次操作	高い	普通

作業員は、6 ヶ月の経験で 2 次加工機に関する作業の技能を習熟し、更に 24 ヶ月の経験追加で 1 次加工機に関する作業技能を習熟する。よって、人員を製造プロセスの全作業を 1 人で行えるようにするには、36 ヶ月以上同じ製造プロセスに継続して配置する必要がある。これら想定は、本研究に先だって、実在の鋳造部品製造プロセスを調査した際の、「1 次加工機となる鋳造機に関連した作業工程を習熟するには、平均で 3 年 (36 ヶ月) 必要であるのに対し、2 次加工機に関しては半年 (6 ヶ月) もあれば十分である」というヒアリング結果を参考にした。

4.3 人員配置シナリオ

シミュレーションによって、人員配置の違いが製造プロセス性能へ与える影響を予測するために、表 2 に示すように 3 つのシナリオを用意した。

表 2 人員配置シナリオ

Case No.	配置人員経験	配置位置
C1	36 ヶ月	ライン 1
	36 ヶ月	ライン 2
C2	36 ヶ月	1 次加工機
	6 ヶ月	2 次加工機
C3	36 ヶ月	1 次加工機
	36 ヶ月	2 次加工機

C1 では経験 36 ヶ月の人員 2 人を、2 つの製造ラインにそれぞれ配置する人員配置（ラインごと）となっている。C2 では 2 つの製造ラインの 1 次加工機に関する作業を 36 ヶ月経験の人員に、2 次加工機に関する作業を 6 ヶ月経験の人員にそれぞれ割り当てる人員配置（加工機ごと）となっている。C3 では C2 同様に加工機ごとの人員配置ではあるが、1 次加工機及び 2 次加工機ともに 3 年経験の人員が配置されている。

C1 と C3 では、1 次加工機と 2 次加工機に関する作業の技能レベルは、同じになる様に設定している。ただし、人員配置方法をそれぞれラインごと及び加工機ごとの配置としており、人員配置の違いがプロセス性能へ与える影響を検討できるようにしている。C2 と C3 はともに、加工機ごとの人員配置となって

いる。ただし、近年の製造現場における頻繁な配転を想定し、C2 では2次加工機に配置される人員の技能をC3の“高い”に対して“普通”と設定することで、加工機ごとの人員配置における技能レベルの違いがプロセス性能へ与える影響を検討できるようにしている。

4.4 シミュレーションモデル

本節では、先述した3つの人員配置(C1~C3)における製造プロセスのシミュレーションモデルを説明する。図3は、Product_1, 2を市場の需要(クライアント)、製造プロセスをその処理サービス、としてそれぞれ定義したモデルである。

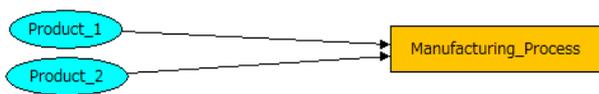


図3 製品と製造プロセス関係定義モデル

図4は、Product_1及び2にはPart_1~Part_4までの4つの部品の製造が必要で、検討対象の製造プロセスにはPart_1(部品1)の製造を要求していることを定義している。シミュレーションを実行すると、このPart_1よりその製造要求が、特定のタクトタイム(間隔)で発生し、製造プロセスへ発信される。本研究では、3つの異なる人員配置における製造プロセス性能の違いを検討する。そこで、全ての人員配置において、Part_1から発生する製造要求のタクトタイムを4.05分~2.18分まで7段階で変化させ、各タクトタイムにおけるプロセス性能を観察した。

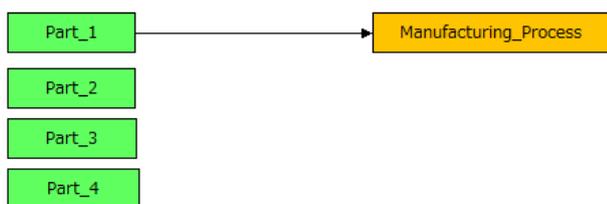


図4 製品定義モデル

図5は、C1における製造プロセスのシミュレーションモデルで、作業フローと人員配置について定義

している。人員は、ラインごとに配置され、①~⑤まで全ての作業を各自担当する。図6は、C2及びC3における製造プロセスのシミュレーションモデルである。人員は2つのラインの、1次加工機に関連する作業①②③と、2次加工機に関連する作業④⑤に、それぞれ配置される。この人員配置では、1次加工機と2次加工機を操作する人員が異なるので、②と④の作業間には情報依存関係を定義する。「④検査」で行う1次加工の良否判断を「②1次加工分析」へ伝達するが、この情報伝達がこれに相当する。この定義により、C2とC3の人員配置におけるシミュレーションでは、これら作業に際して必要な情報伝達作業(コミュニケーション)が発生し、その作業に配置された作業者はこれを適切な期限内に処理する必要がある。本事例では、伝達する情報は1次加工品の良否の判断のみであるために、その情報伝達に必要な作業量は0(人分)とし、その期限は次の1次加工品が生産されるまでの期間(タクトタイム)と想定した。

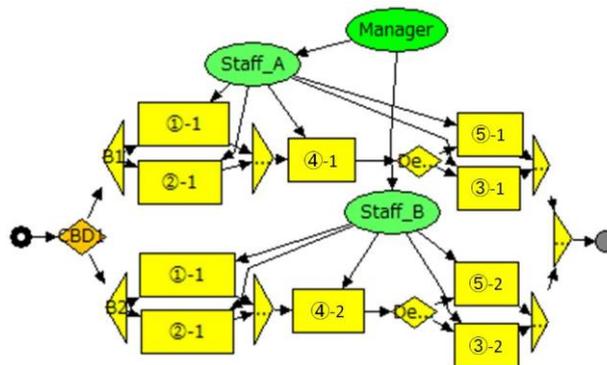


図5 製造プロセス定義モデル(C1)

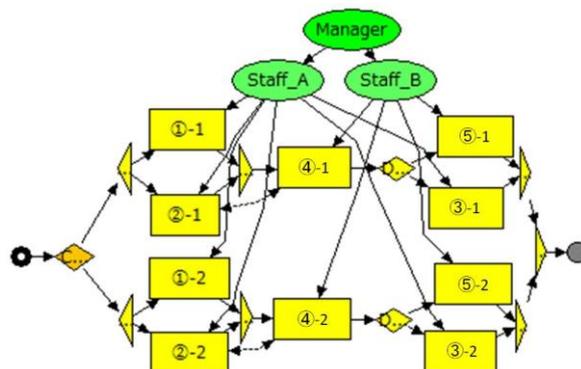


図6 製造プロセス定義モデル(C2, C3)

A Simulation-based-approach for Examining the Influences of Human Resource Allocation on Manufacturing Process Performances

C1～C3 の各人員配置における人員の技能レベルは、先述した表 2の通りに設定した。また、各作業の特性は、表 3の通りである。技能レベルと作業難易度の関係は、シミュレーションにおいて、作業を処理する速度及び例外（ミスなど予想外の結果）の発生頻度に影響する。例えば、技能の高い人員は普通の人員に比べより早く作業を処理でき、且つ失敗など例外の発生頻度も少ないことは一般的である。その効果は、対象となる製造プロセスのマネージャーへのインタビューを参考にし、表 4の様に設定した。③1次調整作業は、15回に1度の割合で発生する。

なお、本事例では、本シミュレーション手法についてなるべく簡潔に説明するために、失敗やミスなど例外の発生率を 0 として、例外発生による上司との調整や、その措置の方針（例えば、時間最優先でなるべく簡単な対応にとどめるのか、又は品質最優先でなるべく些細なことでも手戻りなど完全な対応を行うのか）など、組織特性に関わる影響を排除したシミュレーションを行った。

また、シミュレーションにおいて人員が次に処理する作業を決定する際には（選択ルール）、作業員の手元に先に到着した作業アイテムを優先的に処理する「先着順」のルールに従うものとする。

表3 作業特性設定

作業	難易度	平均作業工数 (人分)
①1次操作	高い	1.00
②1次分析	高い	0.00
③1次調整	高い	9.00
④検査	普通	0.40
⑤2次操作	普通	1.24

表4 技能・難易度マッチング効果

難易度	技能レベル	
	普通	高い
普通	1.0	1.2
高い	1.0	1.2

5. シミュレーション結果分析

5.1 評価指標

本事例研究では、生産能力、歩留まり、効率の3点から、シミュレーションにおけるプロセス性能の評価指標を表 5に定義し、続いて各評価指標について説明する。

表5 プロセス性能と評価指標

性能	評価指標
生産能力	1. 平均時間当たりスループット
歩留まり	2. 平均検査余裕
	3. 平均1次加工機調整余裕
	4. 情報伝達率
効率	5. 人員稼働率

(1) 平均時間当たりスループット：シミュレーションにおいて1時間に処理された製品注文の平均数量

(2) 平均検査余裕：1次加工検査④作業の完了から次の1次加工品を受け取るまでに残された時間的余裕の平均。1次加工品を受け取ってからその検査の完了がタクトタイム以内であれば、次の1次加工品の到着前に1次加工不良を発見することができ、歩留まりも高くすることができる。よって、平均検査余裕は大きいほど、歩留まり悪化のリスクは低く、これが0以下になると常に検査待ちの1次加工品が1つ以上存在し、歩留まりは急激に悪化する。

(3) 平均1次加工機調整余裕：1次加工機の調整③が必要な時に、調整作業着手から次の1次加工開始までに残された時間的余裕の平均。1次加工の不良発見により1次加工機の調整が必要になったときに、その着手（1次加工機停止）がタクトタイム内であれば、次の1次加工を開始する前に1次加工機を停止することができ、不良品製造による歩留まり悪化を防ぐことができる。よって、1次加工機調整余裕は大きいほど、歩留まり悪化のリスクは低く、これが0以下になると必ず1つ以上の不良品を更に生産し、歩留まりは急激に悪化する。

(4) 情報伝達率：検査④工程において、全ての1次加工品の良否判断及びその付随する情報のうち、

制限時間内(タクトタイム以内)に伝達できた割合。

(5) 人員稼働率：全労働時間のうち実際に作業を行っていた時間の割合。

5.2 生産能力評価

図7は、タクトタイムの変化に伴う C1~C3 の生産能力の推移を示している。何れの人員配置も、生産能力が飽和するまではタクトタイムの短縮に比例して生産能力も増加している。生産能力が飽和するタクトタイムは、ラインごとの人員配置 (C1) の方が加工機ごとの人員配置 (C2, C3) よりも短く、最大生産能力もラインごとの人員配置の方が大きく (本ケースでは 8%程度) になっている。よってシミュレーション結果から、人員配置の違いは製造プロセスの生産能力へ影響することが分かる。その一方、同じ加工機ごとの人員配置で、2 次加工機に配置されている人員の技能レベルが異なる C2 と C3 では、生産能力が飽和するタクトタイムはほぼ同じで、その生産能力も C3 が 4%程度大きいものの大差ない。

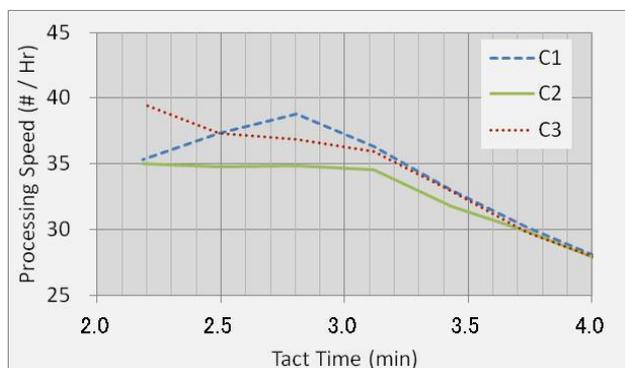


図7 生産能力の推移

このことは、シミュレーション設定において、C2, C3 ともに難易度の高い 1 次加工機に関する作業は、同じ処理速度で行われるが、2 次加工機に関する作業は、C3 は C2 に比して 1.2 倍の速さで処理される。また、1 次加工機と 2 次加工機それぞれで発生する総作業量はほぼ同じになるように設定してあることから、シミュレーション結果では C2, C3 ともに 1 次加工機に関する作業がボトルネックとなるはずであり、生産能力が 2 次加工機に配置された人員の技能レベルに関係ないというシミュレーション結果は、シミュレーション設定が結果に正しく反映されてい

ることを実証しているといえる。マネジメントの視点では、頻繁な配転によって 2 次加工機の人員の技能レベルが低下したとしても、運用上の最大生産能力にあまり影響しないことが分かる。また、一般的に、ラインごとの人員配置は、手待ち時間が発生しないことから、加工機ごとの人員配置に比べて、生産能力が高いと考えられている。本シミュレーション結果においても、配置した人員の技能レベルの条件が同じ C1 と C3 を比較すると、生産能力の最大値 (Tact Time 2.8 min) は、加工機ごとの人員配置である C1 の方が高くなっており、この結果からシミュレーションは定性的に妥当であると考えられる。

5.3 歩留まり評価(検査)

図8は、タクトタイムの変化に伴う C1~C3 の平均検査余裕の推移をそれぞれ示している。まず、人員の技能レベルが同じで人員配置が異なる C1 と C3 を比較すると、それぞれの検査余裕はほぼ同じタクトタイムで 0 になっていて、歩留まり悪化のリスクという点では大差ない。その一方、人員配置方法が同じで検査を行う人員の技能レベルが異なる C2 と C3 を比較すると、その技能レベルが低い C2 は検査余裕が小さく、15%も長いタクトタイムでその余裕は 0 になってしまう。

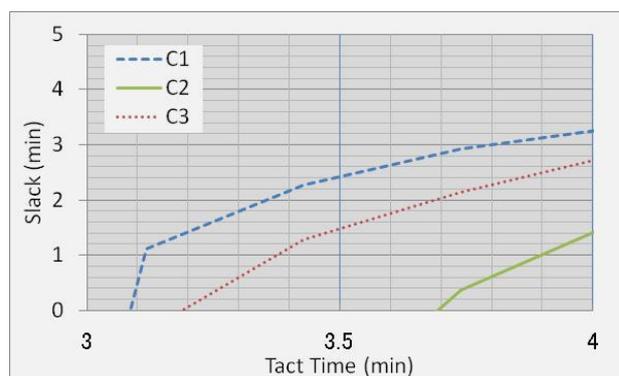


図8 平均検査余裕の推移

このシミュレーション結果も、前項で述べたように、シミュレーション設定において 1 次加工機に関する作業がボトルネックになるように設定されていることが原因であると考えられる。C3 において、2 次加

A Simulation-based approach for Examining the Influences of Human Resource Allocation on Manufacturing Process Performances

工機に関する作業は、1次加工機に比して1.2倍の速さで処理されるように設定されている。そのため、同じタクトタイムでもC2より1.2倍時間的余裕があり、その分検査の余裕もC2より大きくなっている。このシミュレーション結果は、前項同様、シミュレーション設定が結果に正しく反映されていることを実証しているといえる。マネジメントの視点では、頻繁な人員配転による2次加工機に関する技能レベルの低下は、1次加工品検査において歩留まり悪化のリスクを増大するということが示されている。この点は、現場のマネージャーからもシミュレーションに先だって懸念されていた点であり、本シミュレーションは、これを裏付ける結果となっている。

5.4 歩留まり評価(1次加工機調整)

図9の結果では、タクトタイムの変化に伴うC1~C3の、1次加工機調整余裕の推移をそれぞれ示している。まず、人員の技能レベルが同じで人員配置が異なるC1とC3を比較すると、ラインごとの人員配置であるC1がC3に対して大きな余裕を示し、22%も短いタクトタイムまでその余裕を維持している。その一方、同じ人員配置で、2次加工機の人員の技能レベルが異なるC2とC3を比較すると、ともに小さな余裕で大差なく、C1に比べると同じようなタクトタイムでその余裕が0となっている。この結果は、人員配置の方法が大きく影響していることを示唆している。ラインごとの人員配置であるC1は、調整すべき1次加工機は1機であるのに対し、加工機ごとの人員配置であるC2、C3では2機であるため、2機の調整がほぼ同時期に重なって発生する可能性がある。このC1とC3の設定の差がシミュレーション結果の差となっており、シミュレーション結果の妥当性を実証している。現場マネージャーは、1次加工品の良否判断の遅れによる歩留りへの影響をより強く懸念し、1次加工機調整のタイミングが重なることによる歩留りの影響はあまり懸念していなかった。この点は、シミュレーション結果と実際には差異がある。この原因として、実際の1次加工機の調整頻度は、シミュレーションにおいて設定した

調整頻度よりも実際は低かったのではないかとということが考えられる。これら結果は、マネジメントの視点では、1次加工機調整に関する歩留まり悪化のリスクは、人員配置による影響を受けるが、頻繁な配転による2次加工機の人員の技能低下の影響は受けないということを示唆する。

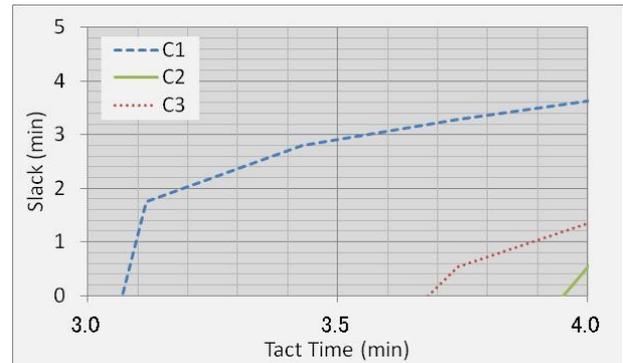


図9 平均1次加工機調整余裕の推移

5.5 歩留まり評価(情報伝達率)

図10の結果では、人員稼働率と情報伝達率の関係をC2とC3について示している。C1については、1人でライン全ての作業を行うために、1次加工品の良否に関する検査結果情報の伝達の必要はない。C2及びC3ともに処理すべき作業の増加に伴い人員稼働率は上昇し、これとほぼ反比例する様に情報伝達率は低下している。しかし、2次加工機に関する作業工程に配置された人員の技能レベルが高いC3は、どの人員稼働率においてもC2より情報伝達率が10%程度高くなっている。これは、表4のシミュレーション設定において、C3で2次加工機に関する工程に配置された人員は、C2の人員に対して同じ時間内に2割ほど多くの作業を処理することができることが原因であり、設定がシミュレーションに正実に反映された結果であると考えられる。実際の現場では、限られた人数の熟練技能者を、加工機ごとに配置することはないので、シミュレーション結果と実際を比較することはできなかつたが、現場マネージャーの意見として、本シミュレーション結果は、当然のことであると受け止められている。また、実際の現場では、忙しくなるほど前工程と後工程でコミュニケーション不足になり、歩留りの低下を招いて

いることから、シミュレーションは、定性的に妥当であると考えられる。この結果は、同じ時間的余裕において技能レベルの高い作業者は、より高品質なコミュニケーションを行うことができることを示唆している。

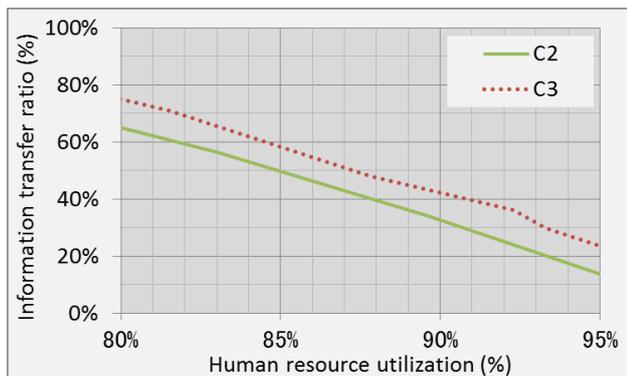


図 10 情報伝達率と人員稼働率の推移

5.6 効率評価

図 11は、処理能力と人員稼働率の関係を、C1～C3 について示している。人員配置方法は異なるが、作業に対する人員の技能レベルが同じである C1 と C3 は、特定の生産能力を得るための人員稼働率はほぼ同じである。その一方、2 次加工機に関する作業において人員の技能レベルが低い C2 は、C1、C3 と同じ生産能力を得るためには、より人員の稼働率を上げる必要があり、その傾向は生産能力が上がるほど顕著になる。後工程である 2 次加工機に関する作業を C2 に比して 1.2 倍の速さで C3 の人員は処理できることから、この結果はその設定を適切に反映しており、シミュレーション結果の妥当性を実証し

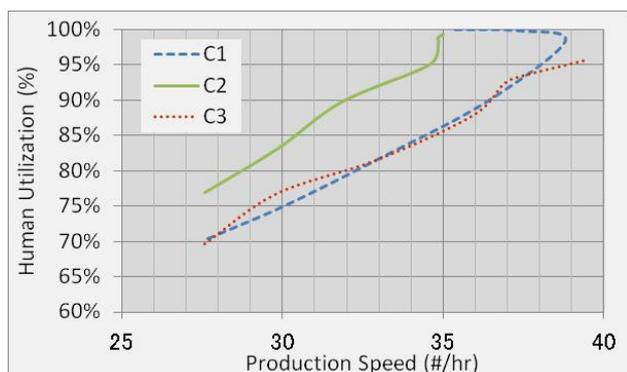


図 11 生産能力と人員稼働率の推移

ている。以上の結果から、生産能力に対する人員稼働率の点で効率を評価すると、効率に影響を与えるのは人員の技能レベルであって、人員配置の違いは影響しないということが分かる。

5.7 影響分析結果まとめ

シミュレーション結果の分析から、人員配置及び頻繁な配転に起因する 2 次加工機人員の技能レベル低下が、生産能力、歩留まり、及び効率へ与える影響について、表 6 にまとめる。

表 6 影響分析まとめ

性能	評価指標	影響要因	
		人員配置	2 次加工機技能レベル
生産能力	平均時間当たりスループット	○	×
歩留まり	平均検査余裕	×	○
	平均 1 次加工機調整余裕	○	×
	情報伝達率	/	○
効率	人員稼働率	×	○

まず、需要に応じて人員を配転するために、従来のラインごとの人員配置を改め、加工機ごとの人員配置にすることによる影響については、生産能力の低下と 1 次加工機調整遅れに起因する歩留まり悪化のリスク増が予想される。次に、頻繁な配転による 2 次加工機人員の技能レベル低下の影響については、効率低下と検査作業の遅れ、及び検査情報の伝達ミスに起因する歩留まり悪化リスク増が予測される。

6. 結論

近年の生産現場における需要に応じた人員の配転に関する問題を、人員配置方法及び人員のスキルレベルの問題としてとらえ、これらが製造プロセスの生産能力、歩留まり、効率などその性能へ与える影

A Simulation-based-approach for Examining the Influences of Human Resource Allocation on Manufacturing Process Performances

響について、シミュレーションによる検討を行った。シミュレーション結果の検討では、次のことを定量的に確認することができた。まず、技能習熟に時間を要する1次加工機の人員不足を補うために、人員配置方法をラインごとから加工機ごとに変更することは、生産能力を低減し、1次加工機に関する歩留まりの悪化リスクを増加させる。次に、加工機ごとの人員配置において、2次加工機の人員の技能レベルの低下は、検査作業に関わる歩留まり悪化リスクを増加させ、作業効率も低下させる。このような予測が可能になることで、状況に応じた管理（マネジメント）が可能になる。例えば2次加工機の人員の技能に不安がある場合は、歩留まり悪化を避けるために検査作業の余裕を十分とし、又その仕掛に注意すればよいことが分かる。それとは逆に2次加工機の人員の技能が十分である場合は、1次加工機調整作業の余裕を十分にし、又その仕掛に注意すればよい。

これらの検討結果は、本研究で提案するシミュレーションを活用したアプローチが、製造プロセスの人員配置など経営及び管理において、マネージャーの分析を支援し、且つその判断を定量的に裏付けるために十分且つ効果的な予測データを提供できることを実証した。今回の事例では、5工程、2ライン、人員2名の単純な製造プロセスについて検討を行ったが、本手法で利用したシミュレーションモデルは、より複雑な製造プロセスに対しても対応可能である。例えば、混合品種組立ラインにおいては、製品の工程は似ていても個々の工程の難易度や工数は異なることがあり、可変サイクル方式では製品ごとのタクト（投入間隔）が、固定サイクル方式では製品のラインへの投入順序が、生産プロセス設計における重要な課題となる。このような課題に対して本手法は、図3に示すように複数の製品をモデルし、それぞれ異なるタクトタイムで注文を発生することで対応可能である。また、第3章にて本手法で使用するシミュレーターについて述べているように、次に処理する作業アイテムの選択方法をシミュレーション設定において変化させることで、固定サイクル方式においては製品の投入順序を決める代わりに、どの作業

をより優先させた方が生産能力、品質、効率などの点で適切であるかについて検討することも可能である。また、本事例においても、表3に示すように各作業工程の工数が異なったり、又、表4に示すようにそれぞれの工程に配置される作業員の技量が異なったりして、各工程のサイクルタイムは工程の種類及び作業員の技量によってそれぞれ異なる。更に、作業によってはコミュニケーションが必要だったり、あるいは発生した例外に対する措置のための調整を行ったりと、確率的に発生する不確実な事象によって、サイクルタイムは常に一定であるとは限らない。本手法では、それら各工程に潜むサイクルタイムの不確実性についてもモデル化し、その影響について検討することが可能である。今後は、施設・装置などのオペレーションプロセス、銀行・ホテルなどのサービスプロセスなど、様々な分野においての応用が期待できる。

参考文献

- [1] 谷水義隆, 小松悠介, 小澤知里, 岩村幸治, 杉村延広: 共進化遺伝アルゴリズムを用いたリアクティブスケジューリング手法の拡張(オープンショップスケジューリング問題への適応と実験的評価), 日本機械学会論文集 C 編, Vol.79, No.802, pp.371-384, 2013
- [2] 満行泰河, 大和裕幸, 稗方和夫: 複数設計業務のシミュレーションと組織内人員の最適配置, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.79, No.806, pp.641-649, 2013
- [3] 稗方和夫, 内藤紀彦, 大和裕幸, 安藤英幸, 中澤崇: 造船業における知識伝承システムに関する研究: 情報技術による知識獲得フェーズの支援, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.2, pp.131-137, 2005
- [4] 鈴木陽一郎, 金雁, 小山秀夫, 石田修一: シミュレーションによるサービスビジネスプロセス評価のためのモデリング手法, 日本経営システム学会全国研究発表大会講演論文集, 2008 巻, 41号, pp.76-79, 2008
- [5] Suzuki, Y., Yahyaiei, M., Jin, Y., Koyama, H., Kang,

- G., : Simulation based process design: Modeling and applications, *Advanced Engineering Informatics*, Vol.26, No.4, pp.763-781, 2012
- [6] Weber, M., : *The Theory of Social And Economic Organization*, Free Press, 1997
- [7] March , J. G., Simon, H. A., : *Organizations*, John Wiley & Sons, 1993
- [8] Galbraith, J., : *Organization Design*, Addison-Wesley, 1977
- [9] Lawrence, P. R., Lorsch, J. W., : *Organization and Environment*, Harvard Business Press, 1967
- [10] Thompson, J. D., : *Organizations in Action: Social Science Bases of Administrative Theory*, Transaction Pub, 1967
- [11] Baligh, H. H., Damon, W. W., : *Foundation for a Systemic Process of Organization Structure Design*, *Journal of Information Optimization Science*, Vol. 1, No. 2, pp. 133-165, 1980
- [12] Baligh, H. H., Burton, R. M., : *Describing and Designing Organizational Structures and Processes*, *International Journal of Policy Analysis Information Systems*, Vol. 5, No.4, pp.251-266, 1982
- [13] Malone, T. W., : *Modeling Coordination in Organizations and Markets*, *MANAGEMENT SCIENCE*, Vol.10, No.33, pp.1317-1332, 1987