

(論文)

アルミ圧延の多品種混流生産を支援する マクロシミュレーションモデルの構築

Development of Macro Simulation Model to Support Multi-product and Mixed Production of Aluminum Rolling



梅田豊裕*1
Toyohiro UMEDA



堀尾明久*2
Akihisa HORIO



吉野 悟*3
Satoru YOSHINO



上田勝将*3
Katsumasa UEDA

The manufacturing processes for the sheets, plates, and strips of steel, aluminum, and copper that are Kobe Steel's main material products are characterized by the mixed production of a large variety of products. Hence, for the sake of productivity and quality, a number of jobs processed by the same type of method are grouped together as one operational lot on the basis of the operating conditions specific to the equipment. A simulation model has been developed to support production planning and to help in the consideration of operational rules and the capital investment policy involved in such processes. The model has a hierarchical queue structure to flexibly express various lot-making operations. The model further incorporates a mechanism for estimating the time it takes to reach the minimum number of jobs required to form a lot, in order to reduce the unwanted stagnation of jobs between process steps. The effectiveness of the proposed model was demonstrated by numerical experiments, while its accuracy and applicability in terms of the macro evaluation of material flow were verified using actual factory data on aluminum rolling.

まえがき＝鉄鋼、非鉄圧延品などの素材加工系工場では近年、多品種少量・変種変量生産が進展し、生産の流れが複雑化するいっぽうである。さらに、製造リードタイムや中間在庫の圧縮が要請されており、工場全体の生産の流れを適切にコントロールすることは熟練スタッフの経験や勘だけでは困難となっている。そのため、客観的なデータや理論モデルによる評価に基づく高度な生産管理上の判断や意思決定を支援するためのシステム化が強く望まれている。

システム化のアプローチには、設備の詳細な作業順序を計算し、日次～週次の計画立案を支援するスケジューリングシステムがある。あるいは、工場内のマクロな生産の流れを計算し、月次～年単位での生産計画に対する工場内リソースの運用指針を検討するためのシミュレーションがある。それぞれは生産工程をモデル化する上で重要な役割を担っており^{1)～3)}、製品により製造工程が異なるジョブショップ型工程への応用例^{4)～6)}も報告されている。

いっぽう、素材加工系の生産工程において現実の操業検討に活用できるシミュレーションを行うには、工程の複雑さに加えて、段取り時間やコストの削減、品質安定化の観点から、工程固有の条件で同種のジョブ（素材を製品にするまでの加工）をまとめて処理する「ロット集約と順序付け」のモデル化が必須となる。

ロット間で段取り時間が発生する状況でのロット集約と順序付け問題に対しては、最適解探索型のアプローチ^{7)～11)}も報告されている。しかしながら、本稿が取り扱う素材加工工程の規模（数十工程）やジョブ数（数千個/月）を対象にした場合、膨大な計算時間が必要となるため、日常業務のなかで適用するには実用上困難である。

そこで本稿では、工程ごとにロット集約操業を実施する多品種混流ジョブショップ型の素材加工工程を対象に、ロット集約を効率的かつ実用的精度で実行するためのシミュレーションモデルを提案する。本モデルは待ち行列構造を基本とし、ロットを集約するための層と、集約したロットを所定の条件で並べ替えるための層の2階層構造を備える。さらに、シミュレーション時刻の更新に従って設備ごとにジョブの到着を予測する機能と組み合わせ、事前に設定したサイズのロットが完成する時刻を予測することにより、ロット編成に伴うジョブの不要な滞留時間を抑制する機構を組み込んだ。これらにより、大規模素材加工工程において、膨大な生産対象データを工程全体の現実的な生産の流れに関する情報に変換し、月次～年単位での生産や物流状況を予測することが可能となった。

本稿ではこれら特徴的な機能の概要を述べるとともに、テストデータによる提案モデルの有効性の検証結果およびアルミ圧延工場の実績データでの検証例について紹介する。

1. 素材加工工程におけるロット編成

1. 素材加工工程におけるロット編成

多品種を製造する素材加工工場では、投入されるジョ

*1 技術開発本部 生産システム研究所 *2 技術開発本部 生産システム研究所 (現 アルミ・銅事業部門 真岡製造所 製造部)
*3 アルミ・銅事業部門 真岡製造所 製造部

ブの種類がきわめて多く、その製造経路はジョブの仕様により異なるジョブショップ型の生産ラインである。また各工程では、段取り替え時間・回数の削減による生産性向上やコスト低減のために、同一の処理仕様のジョブを複数集めてまとめ処理する「ロット集約操業」が一般的に行われている。以下にロット集約操業の例をあげる。

- ・熱処理を行うバッチ炉では、燃料原単位低減と生産性向上の観点から、焼鈍温度が同じジョブを一つの炉で複数まとめて処理する。
- ・鉄鋼や非鉄の薄板を製造する圧延機では、圧延ロールの交換回数を減らすため、圧延ロールの表面粗度が同じジョブをなるべく連続して圧延する。
- ・表面処理設備では、段取り替え時間がきわめて長いいため、指定される塗料や薬液の種類が同じジョブを極力まとめて処理する。

通常、ロットを構成するジョブ数には一定の自由度がある。その自由度の範囲内で決定されるロットの大きさやロット間の段取り時間は、設備単体の生産性だけでなく、工場レベルでの生産性や仕掛、リードタイム、コストなどに影響する。ジョブの流れが複雑な多品種混流の素材加工工程では、上記のロット集約操業を考慮して中間仕掛や製造リードタイムを予測することが困難である。そこで、種々の検討を行うためには、設備の特徴に応じてロット編成を柔軟に表現できるシミュレーションモデルが必要となる。

2. シミュレーションモデルの特徴

2.1 ロット編成のための待ち行列構造

モデルの基本構造は待ち行列型であるが、効率良く、またきめ細かくロット編成を行うために階層構造^{12), 13)}とした点(図1)を特徴とする。すなわち、設備ごとに設定したロット集約条件それぞれに対応した待ち行列を

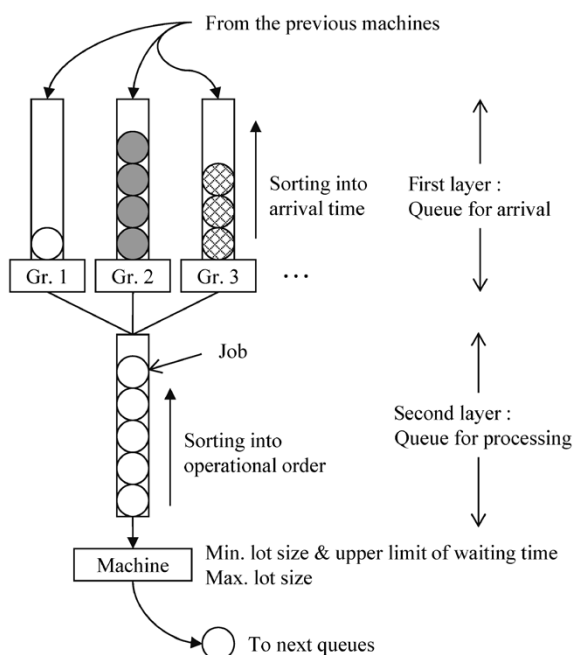


図1 階層型の待ち行列モデル

Fig. 1 Hierarchical queue structure for lot formation

第1層に配置し、ジョブを到着順に格納する。ロット集約条件の種類は常に変化するため、本待ち行列モデルではジョブごとの具体的な属性に応じて待ち行列が自動生成される。各待ち行列には、シミュレーションの進行に合わせて集約されたジョブ数と待ち時間が計算され、これらの値に基づいてロットが処理可能かを判断する。

いっぽう、各設備は次のロットを処理可能になった時点で到着待ち行列を検索してロットが揃(そろ)っている処理可能な状態の待ち行列を一つ選び、次に処理するロットとして先頭から所定の数を抽出する。抽出されたジョブは設備ごとに設定される条件で処理順にソートされた後、第2層である設備前の処理予約待ち行列に格納され、1ジョブずつ処理される。このように、待ち行列を階層化することによって次に処理するロットの検索とジョブの並べ替えを効率的に実行できる。

2.2 ロット編成に用いるパラメータ

ロット編成の指針に相当するシミュレーション上のパラメータとして、設備ごとに以下の値を設定できるようにした。

- ・最小ジョブ数：一つのロットとして処理可能な最小単位である。生産効率、コスト、あるいは作業性の観点から運用上の指針として設定されることが多い。
- ・最大ジョブ数：一つのロットとして処理できる最大単位である。通常、設備の仕様や操業上の制約によって決まる。
- ・最大ロット待ち時間：最小ジョブ数が揃うまでは到着済みのジョブは処理待ち状態となる。その状態で滞留可能な最大時間である。長期滞留を防止するため、この時間を超えて滞留している場合は最小ジョブ数未満でもロットとして編成できる。
- ・段取り時間：ロット間に発生する切り替え時間である。次に処理する場合、この時間が短いロットを優先的に選択することで生産性を高めることができる。

2.3 ロット完成時期の予測機能

ロット集約条件が同じジョブが少なく、最小ジョブ数まで揃いにくいケースでは、上記の最大ロット待ち時間までジョブを滞留させた上で、未完成のロットを割り付ける方式が実装上容易である。しかしながら実操業では、最大時間まで待ってもロットが揃いそうにない時は、最大時間まで待たせることなく事前に未完成のロットとして割り付けることで滞留ロスを抑えている。

そこで、本モデルでは図2に示すように、待ち行列へのジョブの到着予想時刻からロットの最早開始時刻を見積もることにより、実操業と同様の判断を可能とする機構を組み込んだ¹³⁾。以下にその概要を述べる。

- (1) 次工程に仕掛っている到着済みジョブだけを待ち行列に格納せず、その先の未完了工程全てのジョブを到着予定ジョブとして待ち行列に格納する。
- (2) 待ち行列内の到着予定ジョブには、式(1)に示すように設備の作業完了時刻と標準的な工程間のリードタイムに基づく到着予想時刻を計算して設定する。

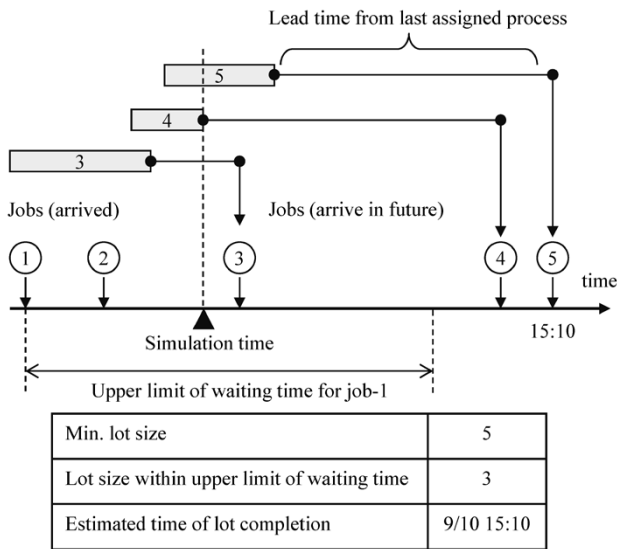


図2 ロット完成時刻の予測
Fig. 2 Forecast of lot completion time

$$\bar{T}_{j,n}^S(t) = \max\{\bar{T}_{j,n-1}^S(t) + L_{j,n}, e_{j,n}(t)\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

$\bar{T}_{j,n}^S(t)$: シミュレーション時刻 t におけるジョブ j の n 番目の工程の到着予想時刻または到着時刻。

$L_{j,n}$: ジョブ j の $n-1$ 番目と n 番目の工程間の標準リードタイム。このリードタイムには標準的な処理時間や待ち時間が含まれる。

$e_{j,n}(t)$: シミュレーション時刻 t において、ジョブ j の n 番目の工程が処理される設備が最後の作業を完了した時刻。

(3) ジョブの到着予想時刻を基に、最小ロットサイズの完成時刻を見積もる。具体的には、到着待ち行列内のジョブの到着時刻またはその予想時刻を早い方から順にソートし、最小ロットサイズを構成する最後のジョブが到着する時刻をロット完成予想時刻とする。この時刻はシミュレーション時刻の更新とともに逐次再計算される。

(4) ロット完成予想時刻までに到着し得るジョブがなく、ロット待ち最大時間を超えるジョブが待ち行列に存在する場合は、最小ロットサイズ未満でもロットとして割り付け可能とする。図2では、ジョブ①、②が既に到着済みで、ジョブ③、④、⑤が到着予定である。この時、ジョブ①の最大待ち時間内に最小ロット単位である5ジョブが揃わないことがこの時点のシミュレーション時刻において判断できる。ただし、③が①の最大待ち時間前に到着する可能性があるため、③の到着までシミュレーション時刻を進めた上で、ジョブ①、②および③が未完成ロットとして編成、割り付け可能となる。

3. 提案モデルの検証

3.1 ロット完成時期の予測効果

最小ロット単位が揃うまでの見積もり時刻であるロット完成時刻の予測機能 (Estimation of Lot Completion time, 以下 ELC という) の有効性を確認するため、5 工程、10 品目、1,000 ジョブ、一工程あたりのロットの種

類3~5のジョブショップ工程のシンプルな例題¹⁴⁾を作成し、ELCの有無によるシミュレーション結果の違いを比較した。その結果を図3に示す。図3より、以下のような本機能の特徴と効果が確認された。

- ロット待ち最大時間が同じ時、ELCをONにした場合にリードタイムが短縮される。これは、最小ロットサイズが揃わない場合に、最大時刻まで待つことなくジョブが処理されるためと考えられる。
- ロット待ち最大時間が短い場合はリードタイム短縮の効果が小さい。これは、ELCがOFFの場合でも、最小ロットサイズまで待たずに処理されることが多くなり、両者の差が出にくいと考えられる。
- 段取り替え回数については、ELCがONの場合に増加する傾向がある。
- ロット待ち最大時間が極度に短い場合と長い場合には段取り替え回数の差は小さい。これは、上で述べたように、ロット待ち最大時間が短い場合は、ELCのON/OFFによらず小さいロットで処理される傾向が強くなって両者に差が出にくいことによると考えられる。また、ロット待ち最大時間が長い場合は、待たせても揃わないロットを同じ大きさでより早期に処理できるためと考えられる。

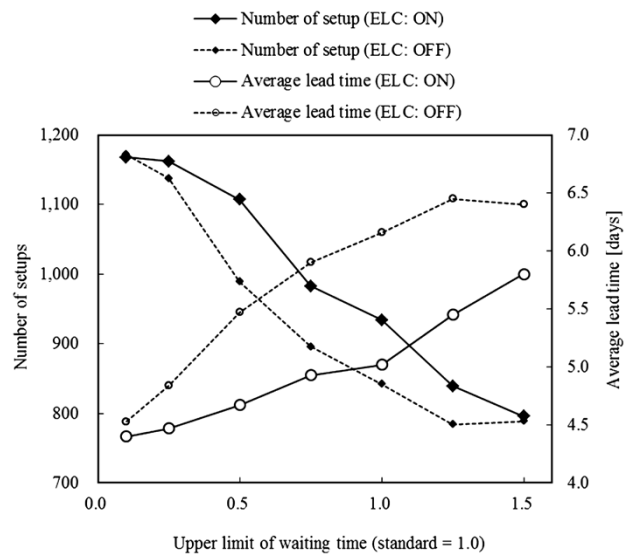


図3 ロット完成時期の予測による段取り回数、リードタイムの変化
Fig. 3 Difference in number of setups and lead time due to prediction of completion time of lot

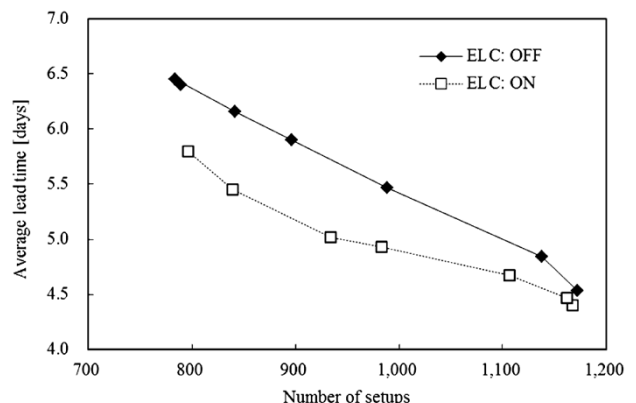


図4 段取り回数と製造リードタイムの関係
Fig. 4 Relationship between number of setups and lead time

つぎに、上記の実験結果を段取り替え回数とリードタイムの2軸で比較した。その結果を図4に示す。ELCのON/OFFによらず両者にトレードオフの関係があることが確認できるとともに、ELCがONの場合は、トレードオフの水準が向上していることが分かる。すなわち、同じリードタイムであればELCがONの場合は、より少ない段取り替え回数で生産することができる、あるいは、同じ段取り替え回数であれば、より短いリードタイムで生産することができることを示している。

3.2 実規模工程での検証

3.2.1 対象工程

つぎに、本シミュレータに当社のアルミ圧延工場の製造工程を設定し、実工場での活用を想定したロット編成指針の検証実験を行った。図5にアルミ圧延工程の概要を示す。溶解鑄造工程で製造されたスラブを熱間圧延した後、冷間圧延、熱処理（バッチ炉、連続炉）、矯正、表面処理、切断など、数工程から十数工程を経て板やコイル製品として出荷する。シミュレーションでは熱間圧延以降を対象とし、設備数は約70、1日に投入するジョブは約100とした。さらに、主要な設備にはロット編成のための条件を設定した（表1）。なお、ロット属性（この値が同じであれば同一のロットに編成できる）の種類は、少ない設備で数種類、多い設備で数十種類である。

3.2.2 ロット編成指針と生産性指標の検証

ロット編成の指針として、表1に例示した最小ロットサイズ（最小ジョブ数）を変化させて期間3箇月のシミュレーションを行い、代表的な生産性指標を調べた。

まず、生産工程内の主要設備について最小ロットサイズの設定を変更し、結果としてシミュレータで編成されるロットサイズがどのように変化するかを調べた。連続焼鈍炉での例を図6に、表面処理設備での例を図7にそれぞれ示す。いずれの例においても、最小ロットサイ

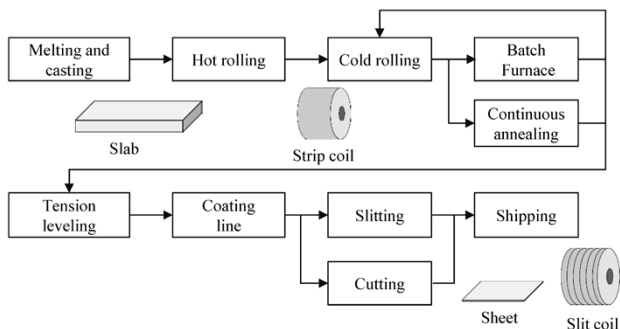


図5 アルミ圧延工場の製造工程の例

Fig. 5 Example of manufacturing process of aluminum rolling factory

表1 ロット編成条件の例

Table 1 Example of lot organizing conditions

Facility	Collecting attributes	Lot size* (min., max.)	Max. lot wait [days]
Cold rolling	Roll surface type	(3, 100)	7
Batch furnace	Treatment temperature	(5, 15)	7
Continuous annealing	Treatment temperature	(5, 62)	7
Coating line	Paint type	(13, 44)	30

*Lot size is the ratio to when maximum lot size of cold rolling = 100

ズの設定値を大きくすると、シミュレータ内で編成されるロットの平均サイズも大きくなるなか、その効果は徐々に低下して行くことが分かる。これは、最小ロットサイズが大きくなると、最小ロットサイズが揃う前にロット待ち最大時間を超えるジョブが発生し、結果として最小ロットサイズ未達のロットが増えるためと考えられる。なお、参考のために実績データから手計算で求めたロットサイズの平均を図中に点線で示した。

最小ロットサイズは、連続焼鈍炉では最大20%程度に、表面処理では70%程度にそれぞれ設定することによって、実操業に近いロットサイズのシミュレーションができる可能性があることが分かる。

つぎに、負荷の高い主要設備（全体の約1/3）について、最大ロットサイズに対する一定比率で最小ロットサイズを変更した時の総段取り回数と熱延～出荷までの

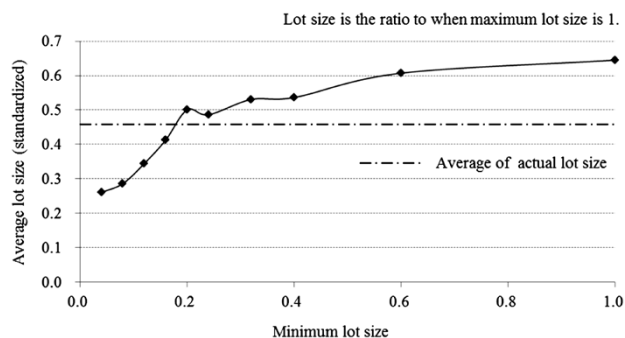


図6 連続焼鈍炉での最小ロットサイズの設定とシミュレーション結果の平均ロットサイズ

Fig. 6 Relationship between minimum lot size setting and average lot size of simulation results in continuous annealing line

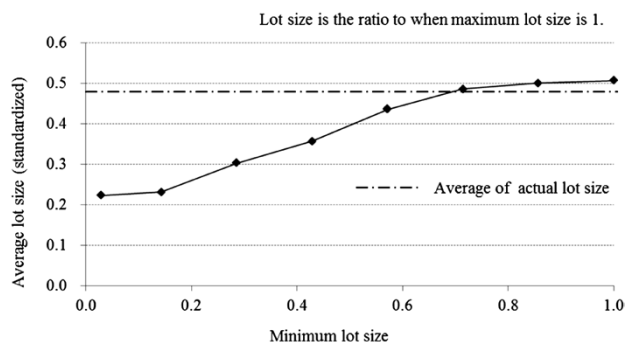


図7 表面処理ラインでの最小ロットサイズの設定とシミュレーション結果の平均ロットサイズ

Fig. 7 Relationship between minimum lot size setting and average lot size of simulation results in surface coating line

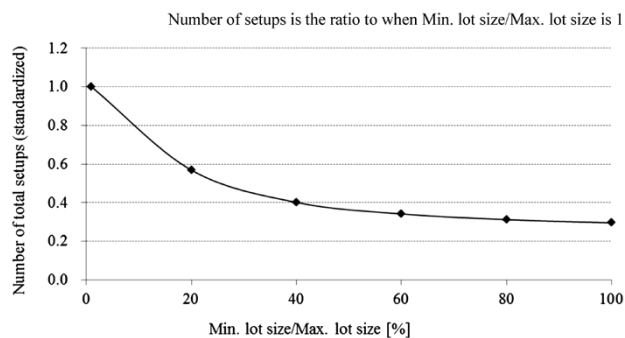


図8 最小ロットサイズと段取り回数の関係

Fig. 8 Relationship between minimum lot size and number of total setups

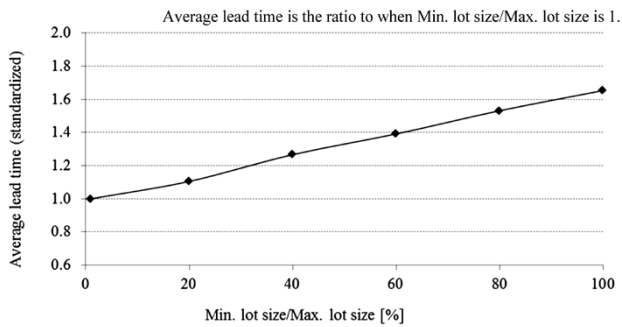


図9 最小ロットサイズと平均リードタイムの関係

Fig. 9 Relationship between minimum lot size and average lead time

平均リードタイムを図8および図9に示す。最小ロットサイズを大きくするほど段取り回数は減少するが、その効果は小さくなるのが分かる。いっぽう、リードタイムはほぼ直線的に増加していることから、最小ロットサイズを過度に大きくすることは、段取り回数を減らすメリットよりリードタイムが増加するデメリットが大きくなるのが心配される。段取り回数は製造コストや作業負荷に影響し、リードタイムは仕掛在庫や納期対応力に影響する。このため、許容できる段取り回数のレベルや目標とするリードタイムを基に、最小ロットサイズの指針を得る形で活用することが重要といえる。

3.2.3 マクロ物流実績による精度検証

シミュレータにより将来の物流状況を予測し、各種操業検討に活用するためには、その前提として、過去のある時期を基準として、その時期の物流状況を再現できるようにシミュレータのパラメータ類を調整する必要がある。これにより、将来予測のベースとなる設定が可能となる。そこで、過去のある時期（半年間）を選び、前節で検証した最小ロットサイズのほか、処理時間や段取り時間、稼働率、品目構成、歩留りなどをその期間の実績ベースに設定した。その上で、仮想的に作成した投入計画を入力とするシミュレーション結果から得られる工場内の中間仕掛量や置場間の日ごとの搬送量を実績値と比較した。

物流系の評価においては、平均値だけでなく最大値が重要となる。このため、代表的な置場の中間仕掛量とその間の搬送量について、これらの平均値と最大値を比較した結果を表2に示す。この表から分かるように、シミュレーション結果の平均値、最大値はいずれも、実績との差は5%以内で得られている。実績の最大値が平均の125~150%であることを踏まえると、マクロ物流を評価する上で実用上十分に許容できる範囲であるといえる。とくに、置場や搬送能力の増強を検討する際の鍵となる最大値の一致度も高いことから、本シミュレータが将来の物流リソースの検証に有効なツールとなり得ることが確認できた。

4. シミュレータの活用例

今回提案したシミュレーションモデルは、製造途中の各工程独自にロット編成する工場での操業方針の検討、および設備や物流リソースへの投資の検討での活用を想定している。以下に活用例の一例を紹介する。

表2 中間仕掛量と搬送量に関する実績値とシミュレーション結果の比較

Table 2 Comparison of amount of work in process and transportation amount between actual values and simulation results

		Work in process		Transportation amount	
		Total	Cold rolling	ShopA →ShopB	ShopC →ShopD
Max.	Actual	125	125	155	150
	Sim.	117	122	148	143
Ave.	Actual	100	100	100	100
	Sim.	96	102	99	102

Each value is the ratio to when actual average is 100.

4.1 負荷に応じたロット編成指針の策定

3章で述べた結果より、設備ごとに設定する最小ロットサイズは段取り替え（製造コストに対応）やリードタイム（納期対応力に対応）に強く影響することが分かった。そのため、生産計画を達成するために工場として許容できる段取り回数・時間のレベルや目標とするリードタイムのレベルから、最小ロットサイズの指針を得る形での活用が期待できる。例えば、受注計画が大幅に変わった際、設備ごとの必要生産性の変化に伴って、ロット編成の指針も大きく変化する可能性がある。これに対して、本シミュレータにより各設備の必要生産性、例えば、受注計画を達成するために許容できるネック設備での段取り時間を制約とした上で、この段取り時間を実現するための最小ロットサイズの指針を得ることができる。さらに、シミュレーション結果より、その場合のリードタイムを見積もることができる。これらを基にして状況に応じた設備ごとの計画指針や品目ごとの製造工期を算定することも可能になる。

4.2 必要仕掛量や置場能力の検討

途中工程の設備でのロットサイズを大きくして段取り時間の少ない操業を実施するためには一般に、設備前で保有する仕掛量を増やす必要がある¹⁵⁾。本シミュレータにより最小ロットサイズと段取り時間、あるいは仕掛量との関係を図8や図9と同様に分析することにより、生産管理上許容される段取り時間に対して、保有するべき仕掛量を把握することができる。そのため、月次や期の生産計画策定時の仕掛保有計画を策定する際の判断サポート、あるいは置場の能力を考慮した上での最小ロットサイズの指針を検討する活用方法も考えられる。とくに鉄鋼や非鉄など製品のサイズが大きく、製造量も多い製品の場合、工場内で容易に置場を確保することが困難であるため、このような観点での計画策定が重要となる。

4.3 品目ごとの投入サイクルの検討

素材加工型の工場では、上流工程ほど同一品目（一般に製品の用途や特徴が同じ注文）内での設備選択の自由度や製造条件の差が小さいという工程上の特徴もある。そのため、品目ごとの工場への投入間隔をどのように設定するかも生産管理上重要な判断項目となる。熱延工程への同一品目の投入間隔を変えた場合の、ある置場での仕掛推移のシミュレーション結果の一例を図10に示す。ここでは、同一品目の熱延間隔をN日とした場合、およびその2倍の2N日に設定した場合の2種類を比較して

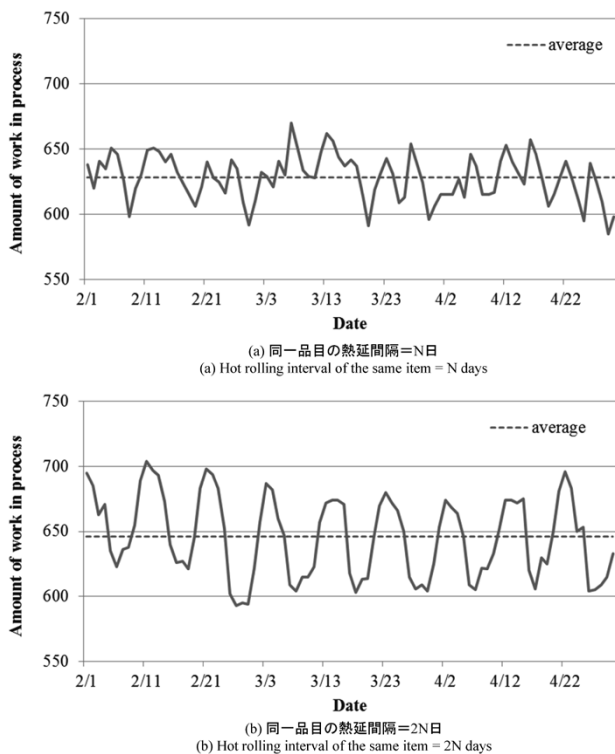


図10 熱延投入間隔と仕掛推移の例
Fig.10 Hot rolling interval and work in process

いる。

図10から分かるように、同一品目の熱延への投入間隔が長い方が仕掛の振幅が大きく、そのピーク値も高くなることが分かる。ただし、図には示していないが、投入間隔が長い方が段取り替え回数は少ない。これは、投入間隔が長くなるほど、同じ品目が同じ時期に多く投入されるため、特定の設備や置場に対して大ロットで供給される傾向が高くなるためである。

前節と同様に、置場の容量に余裕がない状況、例えば、置場の容量が650とすると、投入間隔がN日の場合は、3箇月間で数日だけ別の置場（例：工場外の貸し倉庫）に仕掛をかわすだけで済む。しかしながら、投入間隔が2倍の2N日の場合は、期間の約半分の日数で仕掛をかわす必要がある。さらに、その量も多いことから大幅なコストアップに繋がる。この場合、段取り替えの増加によるコストアップと外部倉庫への仕掛移動によるコストアップとを比較して投入間隔を決定する必要がある。具体的なコストは別途計算する必要があるが、生産管理面での意思決定にシミュレーションによる物流観点での計算結果を活用することにより、経験や勘だけでは難しい高度な判断が可能になることが期待できる。

4.4 搬送リソースの能力評価

素材加工系の生産工程では、複数の設備が一つの置場を共有することが多い。このため、本シミュレータでは、設備と置場の対応を任意に設定できるようにした。これにより、置場ごとの仕掛量だけでなく、置場間の仕掛品の移動量を時系列で評価することが可能となる。置場間の移動にはトラック、フォークリフト、クレーン、台車など置場相互の関係により搬送手段が決まることから、これら搬送手段に必要な能力を見積もることができる。

したがって、搬送能力の不足分に対する投資判断や搬送業務の委託先との交渉にも活用することが可能である。

5. プラットフォーム化に向けた課題

開発したシミュレータを実工場向けのシミュレーションプラットフォームとして種々の判断に継続的に活用されることを企図している。しかしながら、今回紹介したシミュレーションモデルだけでは実用化は難しく、以下に示すようなさらなる機能の充実が必要と認識している。

- ・現時点を基準としたオンラインでの意思決定に活用するには、シミュレータの初期状態を工場の現時点の状態に合わせる必要がある。そのためには、工場の実績データ（仕掛状態、設備ごとの着手/完了時刻）や確定している工程計画をリアルタイムに取得できる環境が必要となる。
- ・工場内の設備や操業は継続的に改善されており、設備の能力や段取り条件を定期的に調整することが必須となる。設備数や段取り条件の数は非常に多いため、蓄積した実績データからこれらの条件を自動的に算出し、マスタに登録する仕組みが必要となる。
- ・生産計画が大きく変化する際、過去の実績に基づく条件では所定の期間で計画量を製造できない場合が考えられる。このような状況では、技術的に可能な範囲で製造手順を変更し、設備の負荷分散を図る必要がある。この領域では専門家の判断も必要になるため、対話的な仕組みが求められる。
- ・意図した結果を得るための条件を導くこともシミュレーション活用での重要な役割となる。この場合、どの条件を修正すべきかをシミュレーション結果から探索するための可視化ツールや結果データの分析ツールが重要となる。

むすび = 多品種混流型素材加工工程に対する操業上の指針であるロット編成操業に着目し、製品や工程のデータから、ロット編成条件が生産の流れに与える影響を定量的に評価できるシミュレーションモデルについて述べた。モデルの構築にあたり、工程固有のロットまとめ操業を効率良く忠実に再現するために、各工程でロットまとめのグループ別に待ち行列を生成する方法を取り入れた。また、所定のロットサイズが揃うまでジョブが待ち行列内で待機できる最大時間をパラメータとして与えることでロット集約のための滞留時間を設備ごとに調整できるようにした。さらに、未着手工程のジョブに対しても、待ち行列への到着時刻を予測する機構により、最大待ち時間内にロットが揃わない場合のジョブの不要な滞留時間を抑制する仕組みを組み込んだ。

ケーススタディを通じた検証の結果、所定のロットサイズが揃うまでの最大待ち時間や最小ロットサイズが段取り回数と製造リードタイムのトレードオフを調整するパラメータとなり得ることが確認できた。また、待ち行列への到着時刻を予測する機能を導入することにより、本機能を利用しない場合に比べて段取り替え回数と製造

リードタイムのトレードオフを改善できることを確認した。さらに、アルミ圧延工場の製品、工程データで実行した結果と物流実績データとの比較において、マクロ物流検証での実用に耐え得る精度を確認した。

今後は、実工場の生産の流れをより精度良く計算できるようにするため、最小ロットサイズやロット待ち最大待ち時間など、生産環境に応じて調整する必要があるものの、実際の工程管理業務では必ずしもその指針が明確化されていないロット編成に関するパラメータ設定の知見獲得を進める予定である。さらに、日々の計画業務の支援や操業検討に継続的に活用するために、ロット編成や段取り条件に関する多くのパラメータを操業の変化に合わせて自動調整する技術の開発がその先の課題である。

参考文献

- 1) 中野一夫. システム/制御/情報. 1997, Vol.41, No.3, p.106-111.
- 2) 上野信行. オペレーションズ・リサーチ. 1993, Vol.38, No.11, p.571-577.
- 3) 井上一郎ほか. 計測と制御. 1994, Vol.33, No.7, p.547-553.
- 4) 荒川雅裕ほか. 日本経営工学会論文誌. 2001, Vol.51, No.6, p.603-612.
- 5) 荒川雅裕ほか. システム制御情報学会論文誌. 2003, Vol.16, No.9, p.451-460.
- 6) 井本考亮ほか. 計測自動制御学会論文集. 2013, Vol.49, No.11, p.1057-1063.
- 7) 森川克己ほか. 日本機械学会論文集(C編). 1995, Vol.61, No.589, p.354-360.
- 8) 深山隆幸ほか. 電気学会論文誌C. 2006, Vol.126, No.6, pp.771-779.
- 9) H. Meyr. European Journal of Operational Research. 2002, Vol.139, No.2, p.277-292.
- 10) 貝原俊也ほか. 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会2012講演論文集. 2012, Vol.61, No.62, p.61-62.
- 11) 栗山晃ほか. 日本生産管理学会論文誌. 2009, Vol.15, No.2, p.23-38.
- 12) 梅田豊裕ほか. R&D神戸製鋼技報. 2006, Vol.56, No.1, p. 2-7.
- 13) 堀尾明久ほか. 第61回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集. 2017, Vol.131-4
- 14) 梅田豊裕ほか. スケジューリング・シンポジウム2014講演論文集. 2014, p. 155-16.
- 15) 堀尾明久ほか. 第59回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集. 2015, Vol.141-3.