



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

顧客対応力向上を目指した、 線材二次加工生産管理システムの構築

Development of a Wire Production Management System for
Improving Customer Satisfaction

井本考亮
Takaaki Imoto

(株) 神戸製鋼所 技術開発本部
生産システム研究所 システム応用研究室
主任研究員

1 はじめに

はじめに、本稿を執筆する機会を頂いた事に感謝いたします。私は(株)神戸製鋼所に2006年に入社し、生産システム研究所システム応用研究室に配属され、現在入社14年目になります。もともと学生時代には組合せ最適化技術に関する研究を行っており、製造業における生産計画立案問題(プロダクトミックス最適化問題)を対象とし、大規模問題であっても求解可能とする数値モデルの開発を行ってきました。この経験から入社以来、当社が保有する様々な工場の生産管理業務での各種問題を解決するための最適化技術の開発・現場への適用に従事してきました。

企業での研究は大学時代のそれとは異なり、開発した技術を実際の工場での業務に適用し、事業活動に貢献する事が最終的なゴールとなります。しかしながら、実際の工場ならではのローカルルールや例外処理への対応といった、大学時代には考えもしなかった問題に対応する必要がある、実務への適用には高いハードルを感じていました。

このような状況の中、2014年に工場のシステム部門への3年間の配転の機会に恵まれました。工場での業務は現行システムの運用保守・新規システムの提案・システム開発プロジェクト管理など多岐に渡るとともに、実際の工場の操業プロセスを深く知る事ができ、上位の課題から技術課題を抽出し、課題解決を行う勘所がつかめたと感じております。2017年に研究所に戻ってからは工場での経験を活かし、当社金属材料工場における、業務プロセス改善検討から技術開発まで幅広く活動しております。

本稿においては、直近、開発・実務適用を実現した当社の線材工場における生産管理システム構築の事例を紹介しつつ、その中での主に私が検討したスケジューラ部分について

述べさせていただきます。

2 近年の当社生産管理における課題

当社の素材系事業においては、輸送機軽量化に資する金属素材の提供を事業成長戦略とし、新規材料開発やものづくり力の強化に取り組んでいます。私が所属する生産システム研究所では特に安定生産の実現に加え、お客様が要望する納期通りに製品を届ける安定供給の実現に取り組んでおります。

当社素材系事業におけるメインターゲットの一つである自動車分野においては、各自動車メーカは部品メーカを含めたサプライチェーンにおいて可能な限り仕掛・在庫を圧縮するため、必要な時に必要量を生産するJIT(Just In Time)生産が主流となっております。このような状況下においては、製造の最上流である素材系産業であっても、従来の生産性といった工場側の都合によるプッシュ型の生産方式から、お客様からの要求納期に合わせた製造を行うプル型の生産方式が求められます。しかしながら、当社は、1工場における処理品種が多く、1つのラインで複数の品種を生産する混流生産となっております。また製造設備についても設備制約が多く、処理順序によっては内段取りが発生するなど、納期と生産性の両立の難易度がますます高くなっております。そのため、納期を守り効率的な生産を行うためには単純なデータの連携だけでなく、製造プロセスの特徴を反映させたスケジューラの構築など、システムによる意思決定支援が必須となります。

このような状況の中、当社工場において前述の事業環境に直面しており、新たな生産管理システムを導入が事業競争力強化につながる対象として線材二次加工工場を選択し、システム化を含めた生産管理業務刷新を意思決定しました。

3 線材二次加工工場での生産管理刷新

当社の線材二次加工工場は、ICT (Information and Communication Technology) を活用した管理システムを構築しておらず、基幹システムの情報を基にオペレータが計画立案や設備操作を行っていました。これまでは、人手によるダブルチェックなどによる管理を実施していたものの、前述の事業状況の変化によりヒューマンエラー発生リスクや、納期遅れリスクが高まってきました。そこで当社の線材事業の更なる競争力強化のため、ホストコンピュータとプロセスコンピュータからなる管理システムを構築し、製造に必要な情報を全てデータとして管理する事に致しました。更には、工場の状態や注文の納期情報を基に2週間程度の作業順序を自動立案し、製造進捗見込みを作成するスケジューラを構築する事に致しました。これらシステムの支援により、客観的なデータを意思決定の材料とした製造・品質管理が可能となり、作業効率向上・ヒューマンエラーの撲滅が実現できます。さらに一元管理された製造進捗見込みを工場全体で共有する事で、納期遅れリスクを極小化する生産管理業務の設計を行い、実適用を進めております。

図1に生産管理システムのコンセプトを示します。ホストコンピュータは製造条件や納期情報といった各種情報を集約・管理する役割を果たし、プロセスコンピュータへ製造条件や製造指示を伝送します。プロセスコンピュータは製造管理を主目的とし、更に詳細な実績データをホストコンピュータに返します。スケジューラはホストコンピュータから計画立案に必要なデータを受け取り、納期や設備の生産性を考慮した製造経過を立案し、ホストコンピュータに戻します。ホストコンピュータに蓄えられた情報は工場の主要スタッフは

閲覧する事ができ、一元化された情報を基に各種調整を実施する事が出来ます。また、ホストコンピュータに蓄えられた製造実績や検査結果はデータ可視化ツールや解析ツールによって、生産性・歩留・納期遵守率といった指標の管理や製造プロセス条件の改善に用います。

4 スケジューラの構築

今回のスケジューラが対象とするスケジューリング問題は、熱処理工程と酸洗処理工程の2工程を有する、フレキシブルジョブ問題として定義する事が可能です(図2)¹⁾。このようなフレキシブルジョブショップ問題は、組合せ最適化問題の代表例として、多種多様な従来研究があります^{2,3)}。しかしながら、今回対象とする工程については、以下の特徴から数理計画モデルとして記述し、実際規模の問題で最適解を求める事は困難となります。特に②の条件が従来研究もなく、問題のモデル化を困難としております。

① 熱処理工程は複数の設備を有し、一度に複数の製品を処理できるバッチ処理工程である(図3左)。

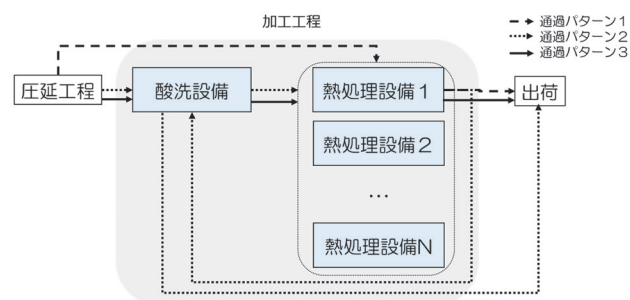


図2 工程例

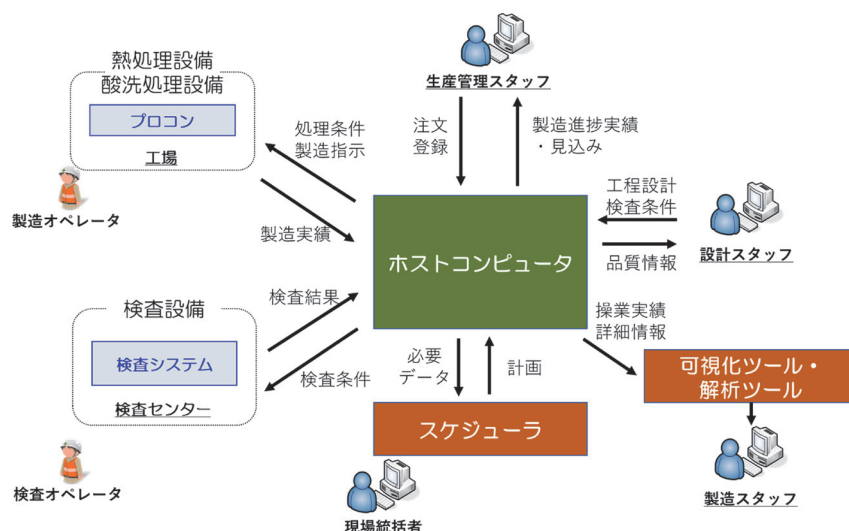


図1 生産管理システムのコンセプト

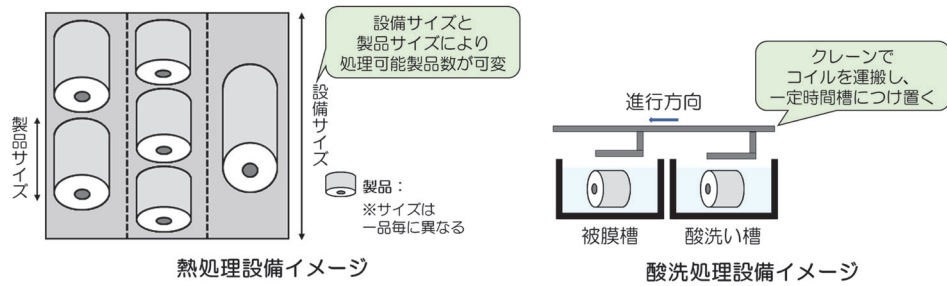


図3 設備の特徴

② 酸洗処理工程は、製品を処理するにつれて酸濃度が劣化し、処理可能な製品が限定されるとともに、酸濃度が一定値以下となった場合には、酸替えが必要となるなど、動的に状況が変化する(図3右)。

このため、まずは表1に示す現場ノウハウや設備制約を考慮した計画立案ルールを作成し、このルールを適用して作成したスケジュール結果のレベル感を確認する事としました。ここで、スケジュール結果のレベルは設備の生産性と納期遵守率の2つを定義しています。実際のデータを用いたオフラインテストの結果、前述の2項目についても、予め工場側と同意した目標値を満たす計画が立案できる事を確認致しました。スケジュールの詳細を確認した結果、更に改善の余地はあるものの、まずは検討したルールベースのスケジューラを実機化し、実効果を出す事を第1優先とし、更なる改善は使いながら実施していく事としました。

改善方法としては、例えば当社の他事例でも経験がある、遺伝アルゴリズムやローカルサーチといったメタヒューリスティクスと呼ばれる、汎用的な準最適化手法の適用があります。これらの適用には、スケジュールを評価するための目的関数の定義を行う必要があります。一例として、“設備の生産性最大化”、“納期遵守率最大化”、“設備制約違反量最小化”の3項目の重み付き和が考えられますが、これら項目の定義や重みの設定について操業部門や生産管理部門と合意を取る事が一番の課題になると考えております。

本原稿執筆中、現在は最終テスト中であり、本誌が発行される時点では活用を開始し、効果発揮している見込みです。

5 おわりに

本現行では、当社の線材二次加工工場における生産管理システムの構築について述べさせて頂きました。なおスケジュールングロジックの詳細は紙幅の都合上割愛致しましたが、参考文献⁴⁾に詳細を載せているため、ご興味のある方はそちらを参考下さい。近年、本稿のような生産管理の分野では“物理モデルを定義した上での最適化手法の適用”、“現

表1 ルール群

No	対象	計画の目的・制約概要
1	酸・熱 共通	納期が迫っている場合は、その製品の処理を優先し、余裕がある場合は、生産性を優先した計画を立案する。
2	熱	製品の種類によって、処理可能な炉が限定する中、各熱処理炉の負荷を平準化させる計画を立案する。
3	熱	熱処理のパターン（加熱速度、均熱時間など）が同一なもののみ、同時処理が可能である事を考慮し、計画を立案する。
4	熱	サイズ的に同時処理可能であっても、製品の種類によっては処理できない事を考慮し、計画を立案する。
5	酸	処理によって槽内の酸が劣化する中、一定数の製品の処理を実施した場合、酸替え（外段取り）を計画に組み込む。その際、処理可能な製品数は、製品の種類によって異なる事を考慮する。
6	酸	製品によっては、新酸でしか処理できないといった、酸の状態と処理可能な製品の組合せが存在を考慮し、計画を立案する。

場の経験知を活かしたルールベースの適用”、“大量のデータを用いた、ビッグデータ解析、機械学習の適用”の3つの手法を組み合わせる事で、より良い成果が達成できるという文献が数多く見られます。本稿ではまだ前2つの手法の適用に留まっていますが、蓄えられたビッグデータ解析を進める事で得られた情報を基に新たな制約の追加/制約緩和する事で、よりよい操業を実現できる可能性を感じています。

企業の研究員には、特定の技術を極めるだけでなく、実工場の製造プロセスモデルを含め、様々な技術を組み合わせた全体最適を狙っていく意識が重要な資質になるのではという想いを持って、本稿を締めさせて頂きます。

参考文献

- 1) 樋野 励：システム／制御／情報，61 (2017) 1, 14.
- 2) 谷 亮一，大久保拓海，玉置久，堀尾明久，井本考亮，梅田豊裕：ジョブショップ問題における段取り時間を考慮した数理計画モデルの一構成法，SCI'18, (2018)
- 3) S.Kawaguchi and Y.Fukuyama：Reactive Tabu Search for Job-Shop Scheduling Problems, Proc. IEEE ICCSE, (2016)
- 4) 井本考亮：スケジュールリング・シンポジウム 2018 講演論文集, (2018), 129.

(2020年5月12日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

神戸大学 大学院システム情報学研究科 システム科学専攻 准教授

藤井 信忠

躍動の記事は私自身も2015年9月号に寄稿しました。5年前のこととはいえ、今回のように先輩としてコメントさせていただく立場に無い様にも思われますが、ご容赦ください。

さて、今回の躍動の記事の執筆者は、井本氏です。入社14年目ということなので、私の8年ほど後輩にあたります。学生のころからシステム最適化技術を修められ、それらに基づく生産管理・スケジューリング手法を鉄鋼生産の実現場を対象に適用することの難しさ、それと同時にその面白さを理解され、まさに脂ののりはじめた中堅研究者というところでしょうか。本文では、線材二次加工工場を事例に、これまでの人に依存したものづくりから、システム化したものづくりへの刷新の過程を報告いただきました。理論的なモデルの世界ではうまくいくことも、例に挙げられている酸洗処理工程のように複雑かつ動的な状態変化を含む工程に、システム最適化技術をそのまま適用することはなかなか難しく、ディスパッチングルールの活用から取り組み始められている点に、その苦労と工夫が窺い知れます。

企業の研究所の研究員に求められることといえば、今回の報告事例のように、まず第1に所属企業のものづくりの革新を実現することでしょう。第2はアカデミアと

産業界の橋渡し役として、実世界の問題を知り、向き合う研究者として、学術の発展と社会貢献に寄与することでしょうか。本文を拝読すると、井本氏は第1のポイントをもさにクリアしつつあることがよく分かります。そして今般、計測・制御・システム部会のシステムフォーラム幹事に就任され、また、藤井が主査を拝命し2020年度から活動を開始した「攻めの操業を支えるシステムレジリエンス」研究会にも参画して頂いています。これまでの研究活動で培われた経験・知識を礎としながら、第2のポイントについても取り組み始めておられます。Covid-19のような大きなインパクトを与えた社会的変化、そして鉄鋼業をとりまく複雑化する市場環境の中で、さらに製造現場や生産管理において時として非合理的な意思決定をしてしまう人的要因を考慮しながら、安定的かつ持続的な生産を継続する手法を追究していく必要があります。このような不完全かつ不確実な環境において、頑健性と適応性を兼ね備えたシステムレジリエンス方策について、研究会等の場を通じて共に切磋琢磨し、アカデミアと産業界の両発展に繋がる活動をご一緒できることを期待しております。

最後になりましたが、井本氏のますますのご活躍を祈念します。

JFEスチール(株) スチール研究所 サイバーフィジカルシステム研究開発部 主任研究員

吉成 有介

先輩技術者から井本さんへのエールということで、記事「顧客対応力向上を目指した、線材二次加工生産管理システムの構築」を読ませていただき、鉄鋼分野の生産計画や物流問題の研究開発に20年近く従事している筆者が僭越ながらコメントさせていただきます。

鉄鋼業では海外からの原料輸送計画に始まり、製鉄所内各工場での生産計画、工場間や出荷倉庫への半製品、製品輸送計画や海外を含めたお客様へのデリバリー計画まで、それぞれのプロセスで様々な種類の計画問題が存在します。

これら計画問題を最適化して製造コスト削減、生産能力最大化、操業安定化やお客様の要望通りに製品をお届けするための技術を開発する事が、この分野での我々技術者のミッションです。

記事にある様に井本さんは学生時代より、鉄鋼分野の計画問題でもしばしば用いられる、組み合わせ最適化問題の研究をされていたとの事ですが、その適用に際して実際の工場ならではのローカル・ルールや例外処理への対応に、大きなギャップを感じたことはよく理解出来ます。また、最適化技術により作成した計画よりも、熟練者の作成した計画の方が操業担当者の感覚にマッチするなど、計算機と人間の出す計画の差にも悩まれたかもしれません。このようなことから、工場のシステム部門での3年間の経験は非常に貴重で有益であったと思われる。

さて今回、井本さんが主担当として取り組まれた「線材二次加工の生産計画問題」に関して述べさせていただきます。

記事で説明されている通り、この生産計画問題はフレキシブルジョブショップ問題に分類され解法も種々提案されていますが、熱処理工程は異なるサイズの製品が複数処理可能なバッチプロセスであったり、酸洗工程での酸替え制約など、鉄鋼分野ではよく見かける設備や制約条件が含まれた問題です。これらを反映した数理計画モデルを定式化するのは難しく、開発工期の長期化や求解時間が実運用に耐え得るかなど、最適化技術を適用するリスクを感じられたと思います。そこで、現場の操業ノウハウや制約条件をルール化して、ルールベースのスケジューリング・システムとして、実効果の早急な発現を第一に優先したことは、非常に良い選択であったと思いますし、筆者にとっても大変参考になりました。記事には触れられておりませんが、計画の見せ方や修正方法にも工夫をされたのだと思います。

最後に触れられているように、蓄積されたデータの活用による今後の方向性に関してもビジョンをお持ちの様で、これらに関して筆者も大きく共感します。

14年目ということで、今後はこの分野の中心的な役割を担っていく事となると思います。今年度よりご一緒させていただく鉄鋼協会学術部会、研究会の活動を含めて、これからのご活躍を期待しております。