

JFE スチール 東日本製鉄所 自動スケジューリングシステム —お客様ニーズにお応えする同期化操業のレベルアップ—

Application of an Optimization Technique to Production Scheduling in JFE Steel East Japan Works —Improvement of Synchronized Manufacturing Processes Responding to Customers' Demand—

小廣 善丈 KOHIRO Yoshitake JFE スチール 東日本製鉄所 工程部生産管理技術室 主任部員 (課長)
佐々木崇志 SASAKI Takashi JFE スチール 東日本製鉄所 工程部生産管理技術室 主任部員 (副課長)
黒川 克美 KUROKAWA Katsumi JFE スチール 西日本製鉄所 工程部生産管理技術室長

要旨

短納期製造などの要望に対応できるシステム基盤整備として、JFE スチール東日本製鉄所は、長期間の生産計画を自動作成するスケジューラを開発した。当スケジューラでは、対象期間を先頭から順番に計画することにより、現品単位での長期計画作成を可能としている。

Abstract:

Automatic scheduling system for production of steel sheets was developed in JFE Steel East Japan Works. This system serves as a base to achieve the demand of a short delivery date to manufacturing from customers. This system enables long-term scheduling by introducing a method to plan sequentially from the head at a given period.

1. はじめに

製造技術の進歩や新興国の成長などにより、全世界の粗鋼生産量は 2010 年には 14 億トンを超え、10 年間で約 2 倍の供給能力を備えるようになってきている¹⁾。世界的な供給能力向上はこの先も変わらない見通しのなかで、売上げを維持拡大していくには、これまで以上に製品の高級化、多品種化および短納期製造の顧客ニーズに応じていく必要がある。これらのニーズを反映して、より複雑化した製造工程を持つ多品種の薄板鉄鋼製品の納期管理をさらに充実させるには、たとえば 1 ヶ月先までを見通した生産計画の作成が求められていた。

しかし、月間数万品にも及ぶ大量生産を行う鉄鋼の生産計画作成には、受注した各注文に応じて異なった製造仕様・製造工程・製造工期・納入日を考慮する必要があり、限られた時間内に全工程を一貫して計画することは複雑かつ負荷の高い業務である。また当該作業を近似アルゴリズムを用いてコンピューターに実行させようとしても、対象現品数の増加に対して計算時間が指数関数的に増加して解算出が不可能であった。

本稿では、ヒューリスティックスアルゴリズムを適用して、

昨今の飛躍的に向上した計算機能力により高速のスケジューラを開発、生産計画作成を自動化することができたので紹介する。

2. 生産計画作成の課題

JFE スチール東日本製鉄所は 2003 年 4 月 1 日、旧川崎製鉄千葉製鉄所と、旧 NKK 京浜製鉄所とが一体となり発足した。東日本製鉄所は、これを契機に、従来地区ごとにあった生産・物流の管理部門 (工程部) を統合し、所を一体として運営管理する組織体制とし、さらに工程部の組織統合をより実効のあるものとすべく、統合以前に千葉地区 (旧川崎製鉄千葉製鉄所) で開発した生産管理システムを京浜地区にも適用し、システムの両地区の生産管理業務を統合した²⁾。

上記、生産管理システムの刷新時に構築した週間計画・日程計画システムによって、製鋼工程から最終ラインの焼鈍・めっき工程まで薄板製造の全プロセスにおける計画対象現品に対して、現品単位の操業順を対話形式で決定し、各ラインの操業系システムに対して指示を実施している。

上述したラインへの操業指示につながる週間計画・日程計画作成業務は、期計画・月次計画といった全社でマクロ的に調整された指針を具体化していくものであり、工場設

備の効率的運用や制約基準について習熟した作業者が実施している。

週間計画システムでは、コンピューター上に構築されたガントチャートを用いて、コンピューターから提供される計画対象現品に関する各種情報を参照し、マニュアルで作業する。週間計画を作成する製造工程は、コイル同士を溶接して連続で操業する連続ラインで主に構成される。連続ラインの計画は、生産の単位であるサイクルを注文の納期・出荷予定などの状況を考慮して先々まで配置することで行われる。サイクルには連続ラインの操業と品質確保のために最小サイクル長と最大サイクル長が設定されている。各注文の納入日を守って、かつ各ラインのサイクル制約を満足する生産計画を全ライン同時に作成することは、大量データを対象にしたマニュアル作業であるため、複雑すぎて不可能であった。

そのため、ラインや品種ごとに複数の人間で担当していたが、各担当者が担当ラインの計画を長期間にわたり作成する場合、担当ラインの作業当日の仕掛現品だけでなく、担当ラインの上流ラインの現品も対象にする必要がある。つまり、担当ラインの長期計画作成のためには、その上流ラインの計画を前提にする必要がある。同様に、担当ラインの後ラインが存在する場合、後ラインのサイクル制約も考慮しないと製鉄所全体としての最適化を達成できないという構造になっている。よって、前後ラインともサイクル制約が複雑な場合は、ライン間の工期に余裕を持たせざるをえなかった。

このように、作成される計画の品質は、作業者の能力に左右されることに加えて、作成作業が長時間に及ぶため、複数の計画を作成し比較・検討することは不可能であった。また至近の操業実績に合わせて、計画の見直しを頻繁に行うため、1週間程度先までの計画作成が作業上の限界であった。

短納期製造のために必要な長期計画作成ニーズの高まりから、コンピューターを用いた自動作成が望ましいと考え、自動スケジューラの開発を行った。

3. 生産計画の自動作成

3.1 生産計画作成の自動化

納期遵守と各ラインのサイクル制約を同時に考慮して、前後ラインで処理タイミングを逆転させないように計画を作成するには、各現品ごとの各通過予定ラインにおける時間制約と、ラインごとのサイクル制約を同時に考慮する必要がある。昨今の飛躍的に向上した計算機能力をもってしても、全ライン同時に実行することは複雑で不可能であった。今回、ヒューリスティックスアルゴリズムを適用し、ライン単位に計画対象現品の時間制約やサイクル制約を考慮して計画を作成することにより、全ラインの計画を短時間で最適化

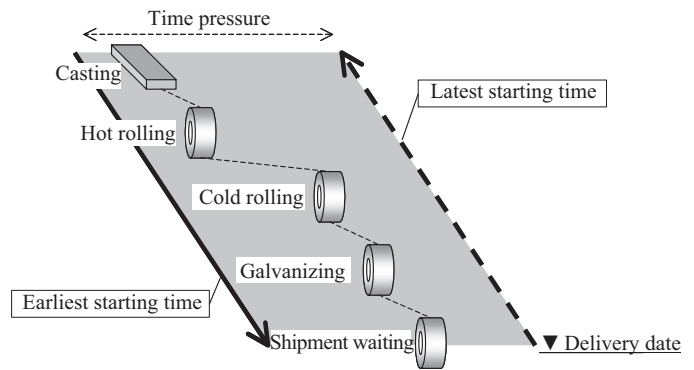


図1 生産計画作成の概念図

Fig. 1 Conceptual diagram of production plan making

することを可能とした。

このスケジューラでは、ラインごとに現品単位で計画の最適化を行う。そのために、納期遵守と前後ラインでの処理タイミング逆転防止を目的とした時間制約を、各現品に付与している。具体的には、各ライン単位に着手しなければ納期を守れなくなるタイミング（最遅開始時刻）と、現時点での仕掛ラインから通過予定ラインまでの必要工期を考慮した処理可能最早タイミング（最早開始時刻）を、各現品ごと、かつ通過予定ラインごとに付与している。その最早開始時刻から最遅開始時刻の範囲の中で、各ラインの操業制約を考慮したサイクルを配置している。その概念を図1に示す。

ただし、全期間（たとえば1ヶ月程度の期間）で現品単位にサイクルの配置を実施することは、単純に実行すると解算出が不可能となる。そこで、先頭から順番に計画することにより1回の計算の対象数を少なくして、現品単位での計画作成を可能とした。

3.2 自動化アルゴリズム

本スケジューラのアルゴリズム概要を図2に示す。以下に、各処理の概要を説明する。

(1) ラインの決定

あらかじめ指定した処理順序で、順次、計画対象ラインを決め、対象ラインごとに、(2)～(5)の処理を行う。この際に、最終ラインから上流ラインに遡った処理順序にしたり、ボトルネックラインをスタートにするなど、その時々状況に応じて、最適な処理順で計画作成することを可能とした。

配置したサイクルの終了時刻が指定した期間を超えるまで(2)～(5)の処理を行う。

(2) 対象期間枠の設定

計画対象ラインに対して、計画開始日より順次、対象期間枠を設定する。

(3) 現品の収集

計画対象ラインの計画対象現品に対して、各現品の

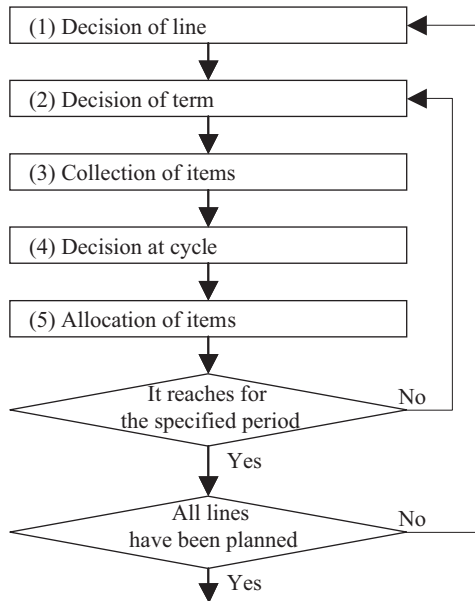


図2 アルゴリズムの概要

Fig. 2 Proposed algorithm

時間制約で優先順位を付け、配置候補現品を収集する。

(4) サイクルの決定

計画対象ラインの配置可能なサイクルに対して、配置済みの直前サイクルとのサイクル制約と、配置することにより達成する指標充足度（納期満足度など）を合計した指標（指標充足度+サイクル制約）を評価し、最も評価の高いサイクルを決定サイクルとする。

(5) 現品配置案の生成

決定サイクルに配置可能な (3) で収集した現品から、配置することで達成する指標充足度（納期満足度など）の高い現品を順次決定、サイクルへ配置する。

4. 自動化による効果

4.1 自動化の実現

対象期間の生産計画を全期間一括して計画するのではなく、先頭から順次作成することにより1回の計算の対象数を少なくし、たとえば冷延薄板品種の圧延～焼鈍・めっき工程における1ヶ月程度の生産計画を、数分といった時間で現品単位に作成することを可能とした。

人によるマニュアル作業では、1週間程度の計画作成に複数の担当者が数時間を要していたことと比べると、大きく時間短縮されたので、製造ラインのトラブルなどによる操業変動や納入予定の急変にも、直ちに計画を見直すことにより早急な対応が可能となった。

加えて、ライン間の必要工期や各ラインにおけるサイクル制約を変更しなければ、毎日同じ条件で全ラインを現品単位に計画するため、作成される計画は再現性の高いものとなった。

表1 装入予定日-装入実績日(計画精度)

Table 1 Processing expected date and processing results day

	Plan accuracy one week ago		Plan accuracy two weeks ago	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
Scheduler	0.0	3.1	-0.7	3.7
Manual	-1.0	3.0	-1.7	6.0

The delay is expressed by the minus

4.2 精度の高い納入可能日の作成

めっき鋼板製造の最終ラインであるめっき工程における計画精度を一例として表1に示す。表1は、めっきラインに関して、計画した装入予定日と装入実績日との乖離を示している。また、スケジューラと人によるマニュアル作成のそれぞれで、1週間前と2週間前における予定と実績との乖離という合計4パターンでの比較結果である。

まず、1週間前における予定と実績との乖離、つまり計画精度を比較すると、スケジューラによる計画では乖離の平均値はゼロであり、人によるマニュアル作成の平均値より1日だけ精度が良いが、ばらつきの範囲を示す標準偏差には差異がない。一方で、2週間前における計画精度を比較すると、乖離の平均値は1週間前における計画精度と同様に、スケジューラが人によるマニュアル作成の計画よりも1日だけ精度が良く、かつ標準偏差については約1/2程度に抑えられている。つまり、1週間前においてはスケジューラも人も同等の計画精度であるが、2週間前になると予定日に対する実績日のばらつきが1/2程度になり、計画精度が向上する。

4.3 ライン間工期の短縮

1ヶ月程度の全ラインの生産計画を現品単位に作成することにより、短納期製造を可能とすることができた。

人によるマニュアル作業では、1週間は現品単位に全通過ラインを計画していたが、それ以上先の計画は、主に最終ラインのみが計画されていた。つまり、最終ラインには1週間以上先も計画が存在していたが、途中工程のサイクル配置による影響が考慮されていない計画となっていた。このような計画では、実際に全ラインの工程が計画されると、つまり途中ラインでのサイクル制約を考慮すると、以前計画していた最終ラインの予定が守れなくなることもありえるため、ライン間に必要以上の工期を持たせることにより対応していた。

一方で、全ラインを現品単位に計画すれば、途中ラインのサイクル制約は計画に織り込まれるので、必要以上のライン間工期を与える必要がなく、結果として、短納期での製造が可能となった。

5. おわりに

JFE スチール東日本製鉄所は、納期管理のさらなる充実を主目的に、長期間の生産計画の自動作成に取り組んだ。その結果として、冷延薄板品種の圧延から焼鈍・めっき工程における1ヶ月程度の生産計画を、数分といった時間で現品単位に最適化するスケジューリングシステムを開発した。このスケジューラによって、短納期製造が可能となった。この点を活用して顧客ニーズに柔軟に対応していけるような体制や周辺の仕組みの改革を進めていく。

今回のスケジューリングシステム開発において、鉄鋼の生産計画作成に合わせた最適化手法の選定と解き方の工夫を共同で研究した、株式会社富士通総研の大西真人氏(元)、株式会社富士通システムソリューションズの小原浩司朗氏、

株式会社富士通山口情報の桐田宣平氏、株式会社富士通中国システムズの清水浩志氏に感謝する。

参考文献

- 1) <http://www.jisf.or.jp/data/iisi/docs/worldsteel2010.pdf>
- 2) 黒川克美, 飛矢地雅也, 長岡洋平. JFE 技報. 2006, no. 14, p. 35.



小廣 善丈



佐々木崇志



黒川 克美