
小径継目無鋼管工場の操業計画システム

Production Planning System for Small Diameter Seamless Mill at Chita Works

明日 正信(Masanobu Akehi) 御幡 勝一(Katuichi Mihata) 簡野 豊治(Toyoji Kanno)

要旨：

川崎製鉄知多製造所の小径継目無鋼管工場の操業計画システムは、分散システムおよび計画型エキスパートシステムより構成した。油井管ライン月間計画スケジューラは、A I (artificial intelligence) 技術を採用し、圧延サイクル配分シミュレータは、G U I (graphical user interface) ツールを採用した。また、オーダー進捗予測管理システムは、リレーショナルデータベース上に構築したオーダーごとの予測情報および実機情報を所内各部署のパソコンでオンライン提供する。これらのシステムは共通ベースにのって威力を発揮しており、計画立案作業工数を $1/2 - 1/5$ に削減するとともに、計画精度およびお客様サービスの向上を図ることができた。

Synopsis：

The system for production planning of small-diameter seamless mill at Chita Works of Kawasaki Steel is composed of a dispersion system and a planning style expert system. AI system is used for the OCTG monthly production scheduler and GUI for the rolling cycle simulator. Also through personal computers equipped at several departments, the order forecasting system enables to see at real time the forecast information and information of up-to-date results of each order stored in the relational database. These systems have begun to give greater effects in eliminating planning work by 20 to 50% and have improved planning accuracy and customer service.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Production Planning System for Small Diameter Seamless Mill at Chita Works



明日 正信
Masanobu Akehi
川鉄情報システム(株)
中部事業所鉄鋼グループ主任



御嶺 勝一
Katsuichi Mihata
川鉄情報システム(株)
中部事業所鉄鋼グループ主任(課長)



簡野 豊治
Toyoji Kanno
知多製造所 技術部企
画室長(部長補)

要旨

川崎製鉄知多製造所の小径継目無鋼管工場の操業計画システムは、分散システムおよび計画型エキスパートシステムより構成した。油井管ライン月間計画スケジューラは、AI (artificial intelligence) 技術を採用し、圧延サイクル配分シミュレータは、GUI (graphical user interface) ツールを採用した。また、オーダー進捗予測管理システムは、リレーショナルデータベース上に構築したオーダーごとの予測情報および実績情報を所内各部署のパソコンでオンライン提供する。これらのシステムは実運用ベースによって威力を発揮しており、計画立案作業工数を1/2~1/5に削減するとともに、計画精度およびお客様サービスの向上を図ることができた。

Synopsis:

The system for production planning of small-diameter seamless mill at Chita Works of Kawasaki Steel is composed of a dispersion system and a planning style expert system. AI system is used for the OCTG monthly production scheduler and GUI for the rolling cycle simulator. Also through personal computers equipped at several departments, the order forecasting system enables to see at real time the forecast information and information of up-to-date results of each order stored in the relational database. These systems have begun to give greater effects in eliminating planning work by 20 to 50% and have improved planning accuracy and customer service.

1 緒 言

昨今の生産管理システムの開発対象は、その上流である工程計画業務のシステム化が主流になってきている。また、システム化技術の発展もめざましく分散システム、計画型エキスパートシステム等を採用したアプリケーションシステム開発も進んできた。本システムは、最新のシステム化技術の適用によって、各ラインの操業負荷平準化による生産能率の向上、計画業務の効率化、計画精度の向上およびお客様サービスの向上を図ることで、非価格競争力の強化とトータルコスト削減を狙ったものである。本システムの中心機能は、ワークステーション側で稼動する「油井管ライン月間計画スケジューラ」、「圧延サイクル配分シミュレータ」および「オーダー進捗予測管理システム」である。

本稿では、これらのシステム機能についてシステム構成、概要および評価を報告する。

2 小径継目無鋼管工場操業計画システムの概要

2.1 システムの狙い

本システムは、受注から出荷にいたる計画業務を全面的に見直

し、納期と操業効率の調和型生産体制を確立するとともに、お客様サービス向上、リードタイム短縮および在庫削減を一気に実現しようというものである。具体的には以下を狙っている。

- (1) 多岐にわたる工程に対応した計画業務の効率化を図る。
- (2) お客様に納期情報やデリバリー情報をオンラインで精度よく提供する。
- (3) 生産工程間の同期化操業を計画し、リードタイム短縮と在庫削減を図る。

2.2 システム機能

上記の狙いを達成するために、本システムは以下のシステム機能で構成している。

- (1) 各設備負荷の平準化を配慮して計画組する月間計画システム
- (2) 随時に工程進捗や在庫予定日等を提供するオーダー進捗予測管理システム (FOS: forecast order status)

月間計画システムは、Fig. 1の油井管ラインを対象に工程計画を立案する「油井管ライン月間計画スケジューラ」と圧延ラインを対象に月間の圧延チャンスに受注オーダーを配分する「圧延サイクル配分シミュレータ」で構成している。油井管ライン月間計画スケジューラは、従来、熟練者に頼りがちだった工程計画業務の運用基準および問題解決手順をAIによって解決した複合工程スケジューリングエキスパートシステムである。

* 平成7年4月11日原稿受付

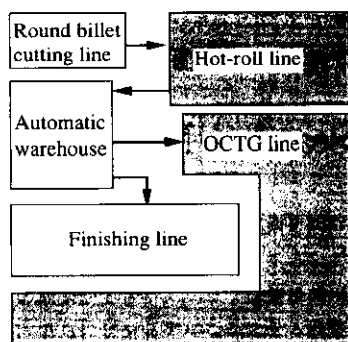


Fig. 1 Small diameter seamless steel pipe manufacturing process

2.3 システム構成

本システムは、基幹処理として生産管理システムが稼動するメインフレームと、月間計画システムおよびオーダー進捗予測管理システムが稼動するワークステーションをオンライン接続した分散処理構成である。システム構成は Fig. 2 に示すとおりであり、概略手順を以下に示す。

- (1) 計画対象オーダーを計画ロットに編成し、ワークステーションへ転送する。
- (2) スケジューラを作動させ油井管ラインの月間計画を立案する。
- (3) 油井管ラインの月間計画結果を受けてシミュレータを作動させ圧延サイクル配分計画を立案する。
- (4) 立案した油井管ライン月間計画と圧延サイクル配分計画をメインフレームに転送し計画データベースに反映する。
- (5) 計画データベースと基幹システムの操業実績情報より作成したオーダー進捗予測情報をワークステーションへ転送する。
- (6) 所内の高速 LAN 配下のパソコンを利用して FOS 照会を行う。

メインフレームとワークステーション間のデータ授受は、高速

LAN 経由のファイル転送方式を採用している。さらに、オーダー進捗予測管理情報についてはメインフレーム側のオンラインシステムによる計画修正情報をタイムリーに取り込むため非同期かつ異機種間のトランザクション通信方式を併用している。

また、ワークステーション側の機能は以下の汎用ソフトウェアを使用して構築している。

- (1) 油井管ライン月間計画スケジューラ： スケジューリングエキスパートシステム構築ツール「APSHELL/SCHEDDES」(富士通(株))
- (2) 圧延サイクル配分シミュレータ： GUI システム構築支援ツール「FROENS」(富士通(株))
- (3) FOS 照会： informix-4 GL (米国インフォミックスソフトウェア社)

3 油井管ライン月間計画システム

3.1 油井管ラインの概要

油井管ライン月間計画の対象となる小径継目無鋼管工場の油井管ラインは、熱処理設備やねじ切り設備を中心に構成されている。油井管ラインを通過する計画ロットと油井管ラインの特徴としては以下の点があげられる。

- (1) 大ロットでかつ通過ライン数が多い。
- (2) ねじ切り工程については、作業クルーや設備共用などの関係から同時稼動できないラインが存在する。
- (3) 設備間の能力差が大きいため仕掛品の滞留やラインの空き時間が発生しやすい。

3.2 油井管ライン月間計画スケジューラ

本スケジューラは APSHELL/SCHEDDES をベースに、数次のプロトタイプシステム開発を行い「複合工程スケジューラ」として開発した。

3.2.1 知識ベースの構造

本スケジューラの知識ベースには以下の内容を登録している。

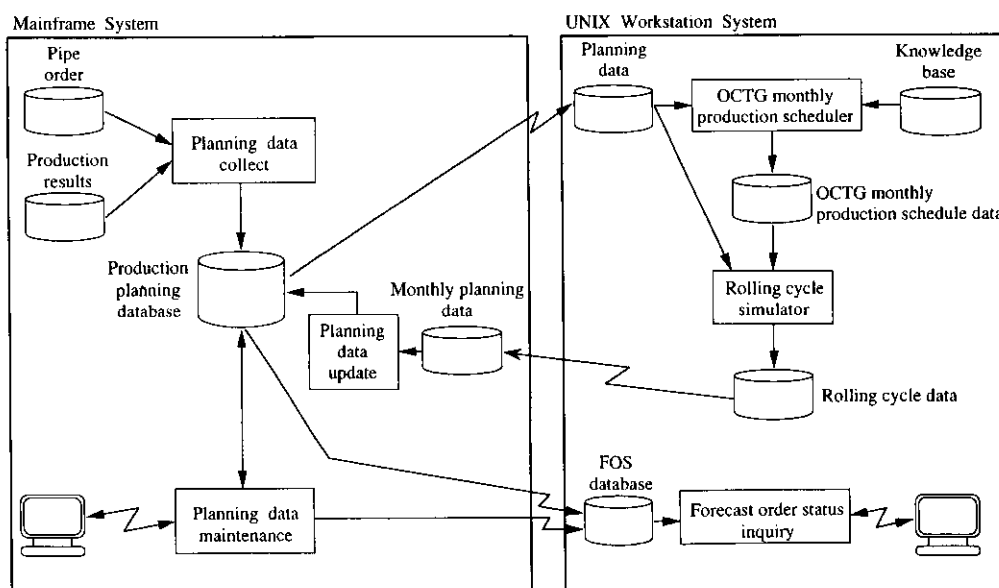


Fig. 2 System image of mainframe and workstation

- (1) 対象モデル： 油井管ライン情報、計画ロット情報、通過ラインの作業情報
- (2) 時間概念モデル： 生産稼動時間情報、停止時間情報、食体時間情報
- (3) 制約モデル： 工程縦生産関連制約、納期制約、空き時間制約
- (4) ファイルフォーマット定義： 計画ロット情報、稼動時間情報、制約条件情報

3.2.2 解法モデルの構造

本スケジューラはヒューリスティック探索を採用している。解法モデルは以下のように構成している。

- (1) 全体問題

計画立案方法の違いから以下の二つのシステム（全体問題）に分割している。

 - (a) 仕掛展開システム： 計画立案日時点の圧延済仕掛分と $(n-1)$ 月ロール未圧延分を対象にスケジューリングを行う。
 - (b) 計画立案システム： 仕掛展開部分に続けて n 月ロール分を対象にスケジューリングする。
 - (c) 再推論システム： 立案結果を人間の指示に従って再スケジューリングする。
- (2) 部分問題

配置案生成のための探索空間および推論時間の増大抑止と、ネック工程の優先的配置を実現するために部分問題化を行っている。部分問題については、ラインおよび計画ロットの特性によって、実仕掛展開部、上流工程展開部、ネック工程展開部、中流工程展開部および下流工程展開部の五つに分割している。
- (3) 問題解法

各部分問題は複数種類の解法（配置案生成）を持っている。以下に代表的な解法について説明する。この他にも相性優先調整案生成、割込調整案生成などの解法がある。

 - (a) 同一属性調整案生成： 圧延からの流れ込みが多い上流工程を対象に、圧延チャンスを意識した同一属性計画ロットの連続配置案を生成する。
 - (b) 隙間調整前詰案生成： ライン上に発生する空き時間を少なくするために、空き時間帯に前詰めで配置する案を生成する。
- (4) 配置案得点評価機能

生成されたすべての候補配置案を評価項目ごとに得点計算して配置案の絞り込みを行う。本スケジューラではこの評価項目ごとの得点に対する評価係数を変えることによって、その時々の上場操業環境ニーズや経営環境ニーズに対応する計画組ができるように以下の四つの計画パターンを設定できる。

 - (a) 標準型： 生産／納期／在庫の総合バランス型
 - (b) 生産重視型： 空き時間の吸収、段取り替え最小の配置案を優先生成する。
 - (c) 納期重視型： 各工程納期を守る配置案を優先生成する。
 - (d) 在庫重視型： ライン作業の同期化／仕掛在庫最小化を狙い、滞留時間最小の配置案を優先生成する。

3.2.3 スケジューリング結果の検証

スケジューリング結果は、GUI 機能による計画評価用ウィンドウ画面で各受注オーダごとにラインの稼動状況等を確認できる。また、計画ロットの配置順変更等の計画内容の部分修正も可能としている。最終的に計画表(ガントチャート)を出力する。Fig. 3 に計画

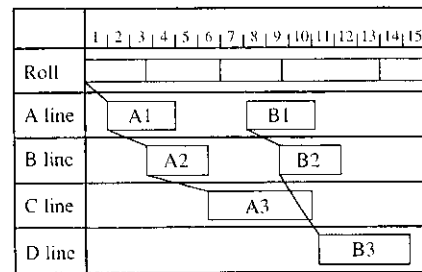


Fig. 3 Image of schedule list

表のイメージを示す。

4 圧延サイクル配分システム

4.1 圧延ラインの概要¹⁾

小径継目無鋼管は、炭素鋼、低合金鋼およびステンレス鋼など多岐にわたり、その用途も各種配管、油井管、ラインパイプ、ボイラ・熱交換器用、機械構造用および材料管とさまざまである。これらを外径サイズによって圧延母管径ごとの圧延チャンスに振り分けて製造している。小径継目無鋼管の主な製造工程は以下のとおりである。

- (1) 水島製鉄所で製造された丸鋼片は回転炉で加熱された後、ピアサーミルによって穿孔されて中空素管になる。
- (2) 中空素管はマンドレルミルで内外両面から圧延されて内径の定形と延伸を行われる。
- (3) 延伸された鋼管は再加熱炉で加熱され、HSR (hot stretch reducer) によって所定のパイプ外径・肉厚に仕上げ圧延される。
- (4) クーリングテーブルで冷却され、所定の長さに切断され、精整工程を経て製品として出荷される。

また、圧延サイクル配分とは上記で述べたように、オーダを数種類の圧延母管径ごとに複数回の圧延チャンスに振り分けることであり、主な目的は以下のとおりである。

- (1) 納期(pull 情報)を取り込んで造管ポジションを決める。
- (2) 生産能力値(push 情報)などをもとに下工程(精整ライン)の生産バランスを考慮し、各造管ポジションに配置する。
- (3) 圧延サイクル別の素材発注量を決定する。

4.2 圧延サイクル配分シミュレータ

4.2.1 圧延サイクルごとの自動配分

圧延サイクル配分については、お客様へのデリバリー対応(納期)と生産性(生産能力)を考慮して決定しなければならない。圧延サイクル配分の決定要件の主なものは以下のとおりである。

- (1) サイクル指定要件

油井管ラインを通過する計画ロットは、前述の油井管ライン月間計画スケジューラによって決定され、それが圧延サイクルに反映される。
- (2) カリバーロールチャンス要件

特殊カリバー(外径)の製品については、ロール組みの関係からロールチャンスが限定されており、納期を考慮しながらそのロールチャンスに配分する必要がある。
- (3) 工程処理量平準化要件

精整ラインには処理能力が低くネックとなる工程が存在する。その工程については特にオーダーの滞留や空き時間が発生しないように配分する必要がある。

本シミュレータのサイクル自動配分機能は、上記の配分要件を考慮し、かつ各サイクルごとの圧延量の平準化も加味して配分を行う。

4.2.2 配分内容の検証

本システムはGUIツールを用いて配分内容をグラフ(図4)、表、色付け等で見やすくしている。計画立案者はグラフや表を見て配分内容の確認や修正が可能である。

5 オーダ進捗予測管理システム

5.1 オーダ進捗予測管理の概要

オーダー進捗管理は、前述の月間計画システムで立案した計画に対して工程進捗の遅れ/進みを判断し、工程計画の変更や進捗の督促などを行なうことである。さらに、お客様や営業からのオーダー進捗に関する問い合わせに、迅速かつ精度よく返答する必要がある。

従来、各基幹システムのデータベースに散在していた情報を、オーダー受付～製品出荷までの計画および実績情報として集約し、工程別の通過予定日情報と合わせて総合進捗管理データベース化することで、生産管理キー項目、お客様管理キー項目などの種々のキーで容易にオーダーの進捗管理を行えるようにした。

5.2 進捗管理と予測計算

5.2.1 工程別実績管理方法

工場の各工程で入力される実績情報を利用し、通過予定日(入庫予定日)の算出基準となる各工程ごとの通過実績情報(日付、生産量)の収集および管理を行っている。

5.2.2 工程別予測日計算方法

本システムは月間計画時点で各工程ごとに通過予定日を設定する。また、約束した納期を守る仕組みとして基準日管理を行っている。通過予定日および基準日の管理方法は以下のとおりである。

(1) 通過予定日管理

(a) 通過予定日の設定：油井管のオーダーは、油井管ライン月間計画スケジューラが設定した通過予定日を使用する。その他のオーダーについては、圧延サイクル配分で求められた最遅圧延日をもとに標準リードタイム加算方式で設定する。

(b) 通過予定日の更新：油井管のオーダーの通過予定日は前工程の進捗状況に関係なく予定日を過ぎるまで更新しない。その他のオーダーは通過工程の操業実績が入力されれば、その日を起点に以降の工程の通過予定日を標準リードタイム加算方式で再計算し設定する。予定日を過ぎても操業実績入力がない時は、翌日に処理されるものとして更新する。

(2) 基準日管理

基準日とは納期を守るため各工程を通過すべき基準となる日であり、通過予定日とは別に管理している。基準日管理の対象は、お客様より納入日指定があったオーダーや重要プロジェクト物件等を指す。設定した基準日に対し遅れが予想されるオーダーには、警告表示を行い注意を喚起する。

5.3 FOS 照会

所内各部署に設置されたパソコンを使用して、お客様や営業からの問い合わせに対し、生産管理キーやお客様管理キーなど種々のキーでオーダー仕様、オーダー充当状況、出荷情報、仕掛品の在庫予測情報等を容易に照会することができる。

6 評価

本システムは1993年8月に稼動した。稼動後の各機能の評価を以下に示す。

(1) 油井管ライン月間計画システム

推論条件の充実と再推論機能の開発によって熟練者並の計画を短時間で作成できるようになった。作業工数はシステム化以前に比較し約1/5となった。また、本システムで作成した計画表は工場内の約50箇所で活用されている。

(2) 圧延サイクル配分システム

従来考慮できていなかった各種の配分要件を自動配分機能で考慮しているため計画精度が格段に向上した。GUI機能を駆使したシステムのため画面が見やすくかつ操作性もよく、経験の浅い人でもすぐ操作できる。作業工数は約1/2となった。

(3) オーダ進捗予測管理システム

従来はお客様や営業の問い合わせに対して各基幹システムに散在する情報を収集し返答していたが、月間計画立案以降は本システムの情報のみで返答できるようになった。

7 結 言

本システムは小径継目無鋼管工場の工程計画業務の支援機能として、分散システムおよび計画型エキスパートシステムなどを採用して構築した。この成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 従来熟練者に頼りがちだった工程計画業務の運用基準および問題解決手順をスケジューラやシミュレータに取り込むことによって、計画精度が大幅に向上するとともに、計画立案作業工数も1/2～1/5に減少し作業負荷軽減を実現した。
- (2) 本システムの開発によって、標準化しにくかった工程計画分野の標準化が進み作業担当者のローテーションが容易になった。
- (3) 今まで各基幹システムに散在していたオーダーの進捗情報を一つのデータベースに集約することでお客様サービスの向上が図れ、かつ将来のVAN構想などへの基盤を確立した。
- (4) 製造業の生産管理システムにおいて、メインフレームとワークステーションの機能分散の基本形を完成させ、オープンシステム技術の適用によって、さらに適材適所コンピューティングの範囲拡大を実現した。

本システムの稼動により小径継目無鋼管工場の工程計画業務は大幅に効率化され、かつ計画精度も格段に飛躍した。今後は本システム開発で得た各種の新技術を溶接鋼管工場へも適用の拡大を図る。

おわりに、本システムの開発にあたっては、(株)富士通東海システムエンジニアリング、富士通(株)の関係各位に多大なるご協力を頂きました。深厚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 深谷直文、片桐忠夫：「継目無鋼管圧延順序組エキスパートシステム」、川崎製鉄技報、23(1991)3、21-25