

製鋼工場のオンライン物流管制システム

家長 吉行・大西 英行・成合 靖正・田中 雅章

1. はじめに

鉄鋼製品の製造コスト合理化の重点課題のひとつとして、連続铸造(CC)と熱間ミルを直結し、半成品スラブを高温のまま加熱炉に装入するいわゆる熱片装入の操業技術開発が進められてきている。本技術には、工程管理技術としての上下工程間の操業スケジュールの連繋が重要な役割をはたすことから、熱間ミル圧延作業順序、铸込ロット集約、溶鋼処理作業順序などの計画の一貫化を狙ったシステム開発を進めてきた[1]。

その一環として、転炉から連続铸造まで(製鋼工場)の操業を、熱間ミル操業に連繋し確実に実施する方策の確立と、さらに製鋼工場の諸元改善も狙って、オンラインの物流管制システムを開発した。

このような製鋼工場の物流管制強化の背景として、工場内物流の複雑化が最大の要因としてあげられる。すなわち、最近の鋼種の多様化高級化に伴って、2次精錬設備が逐次導入されてきて

おり、転炉と組み合わせた溶製処理が増加してきた。このため、①熱間ミルへのタイムリーなスラブ供給、②転炉出鋼時や連続铸造時の適正な溶鋼温度確保、③これらを実施するための溶鋼処理スケジュールの適確な立案と指示、などが重要課題となっていた。

本稿では、鹿島製鉄所の第1製鋼工場の事例により、中核となる溶鋼処理スケジュール法を中心にシステムの概要を報告する。

2. 製鋼工場の物流管制

2.1 工程の概要

鹿島第1製鋼工場には、大型スラブ連铸機2基(1CC、2CC)、スラブ・ブルーム兼用の小型連铸機1基(SHCC)、および鋼塊(インゴット)用造塊デッキが設置されている。またこれらに溶鋼を供給する転炉3基(通常2基操業)のほか、脱ガス設備(RH)や、取鍋精錬設備(LF)などの2次精錬設備が導入されている(図1参照)。

製鋼工場での作業は、チャージとよばれる転炉処理単位(鹿島の場合250トン)で行なわれる。まず高炉からトーチカーで運ばれた高温の溶鉄ガスクラップとともに転炉に装入され、酸素による吹錬によって、炭素などの成分や溶鋼温度が所定値に調整される。次に取鍋への出鋼の後、溶鋼から作られる最終製品の要求性能を満たすべく、合金鉄投入、2次精錬設備による脱ガスほかの処理が行なわれ、主として連铸機にて所定サイズの

いえなが よしゆき 住友金属工業㈱ 制御技術センター
制御OR部*

おおにし ひでゆき 住友金属工業㈱ 鹿島製鉄所システム部

なりあい やすまさ 住友金属工業㈱ 鹿島製鉄所システム部

たなか まさあき 鹿島製鉄所製鋼部

*〒660 尼崎市西長州本通1-3

オペレーションズ・リサーチ

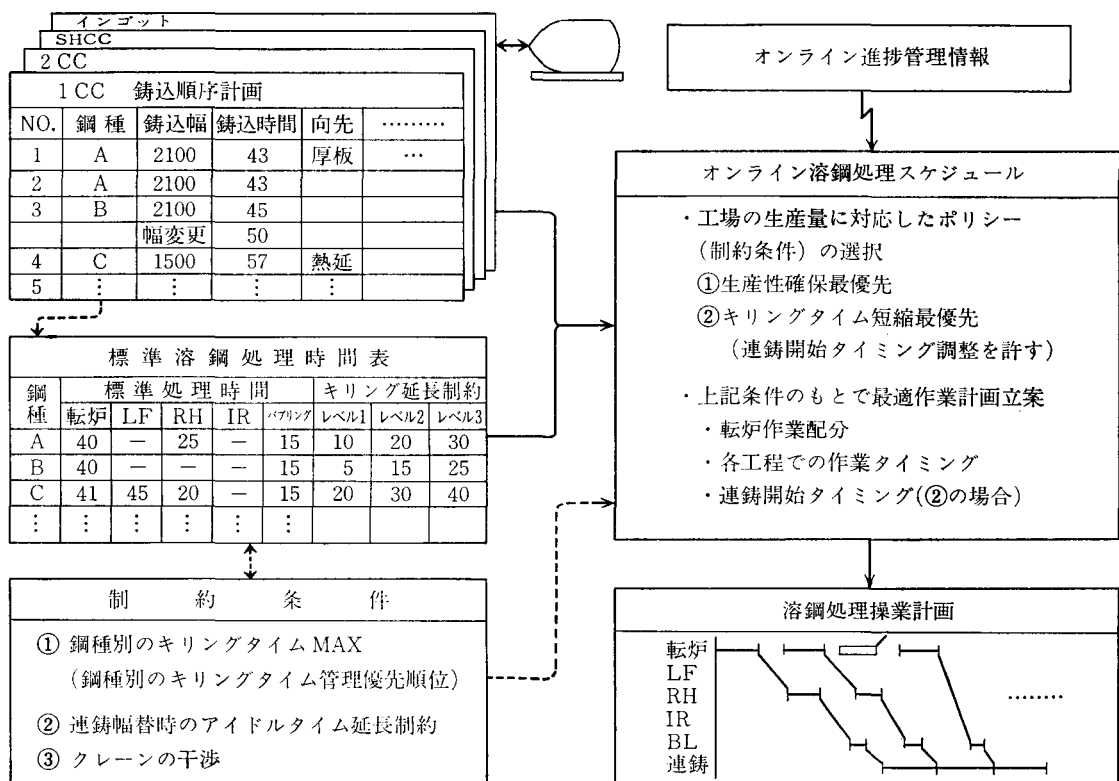


図 4 溶鋼処理スケジューリング問題

転炉から適宜溶鋼を供給することを原則としている。しかし中間工程である2次精錬設備が共用となっており、ここでの作業の競合を避けるために、連鑄機群や熱間ミルの作業変動を勘案しながら転炉や連鑄機の対応はダイナミックに変更されている。

2.3 溶鋼処理スケジュール問題

製鋼工場の物流管制では、熱間ミルの熱片圧延スケジュールに連繫して立案した鑄込順序計画をうけて、これを計画どおりに実施させるために、溶鋼をタイムリーに処理して、連鑄機群に供給していくことがまず狙いとしてある。さらに、製鋼工場にとってキリングタイム短縮がコスト低減の重要課題である。

したがって前記諸条件のもとで、適切な溶鋼処理スケジュールを立案し、作業指示を行なっていくことが、物流管制システムの中核的な機能となっている。

以下本稿では、この溶鋼処理スケジュール法について述べるが、問題は次のように整理できる。

(1) 3基の連鑄機の各々1日先までの鑄込順序計画(合計40～50チャージ)と各チャージの経由工程における処理時間、工程間の移動時間およびキリングタイム延長時間制約が与えられる。

(2) スケジュールでは、各チャージの転炉処理についての設備の振り当てを決定し、以降の工程での作業タイミングを決定する。連鑄機での鑄込タイミングは、熱間ミル作業との関連で通常固定されているが、時間余裕のある場合はキリングタイムを短縮することを狙って、トライ間のアイドルタイムを調整(延長)することも許される。

(3) スケジュールの評価は、鋼種ごとに重みをつけたキリングタイム総和(最小化)で行なう。

図5に、溶鋼処理スケジュール結果の図形出力例を示しておく。

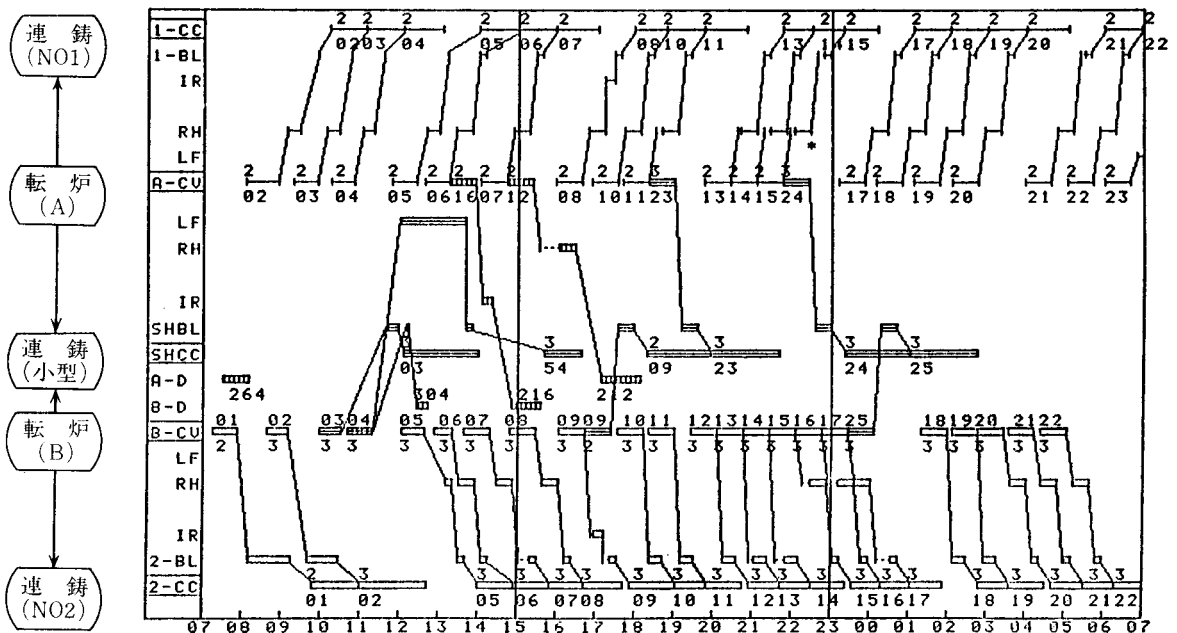


図 5 溶鋼処理スケジュール結果出力例

3. 溶鋼処理スケジュール法

3.1 概要

今回検討したスケジュール法は、概略次に示すごとくのヒューリスティックである。

(1) 3基の連铸機の铸込スケジュールをもとに転炉と中間工程の各設備の負荷を最短のキリングタイムを想定して時系列に展開する。

(2) 同一設備で処理時間帯が競合した場合は、キリングタイム延長の制約条件を段階的に緩和しながら、上工程も含めて処理時間帯の調整と転炉の割り当て変更をくりかえしながら実行可能なスケジュールを求めていく。

この方法を採用した理由として、以下の事項があげられる。

(1) 連铸機やその他の設備での処理作業は、時々刻々操業の外乱により変動しており、このため計画の頻繁な見直しが必要なることから、シンプルでかつ効率のよい方法が要求されていた。

(2) 連铸機の铸込順序計画によっては、キリングタイム延長の制約範囲でスケジュールが求まらないケースもあり、このさいは、調整の途中経過

を提示することで、铸込順序の変更などを担当者にうながし、再スケジュールすることのほうが、作業上有利な場合が多い。

3.2 スケジュール

本スケジュールでは、前述のごとく製鋼工場と熱間ミルとのスラブ需給バランスに応じて、次の2つのロジックをもつこととしている。

(1) 連铸の生産性を最優先に考え、トライ間のアイドルタイムの延長を許さない場合

(2) 連铸の生産に比較的余裕があり、キリングタイムの短縮(延長防止)を優先的に考え、アイドルタイムを必要に応じて延長することを許す場合。

各々のスケジュールロジックの概略フローを図6に示し、以下詳細に述べる。

〈ロジック1〉：生産性最優先のスケジュール

このロジックでは、铸込作業時刻スケジュールを、トライ間のアイドルタイムを必要最小限にするように固定したうえ、これに各チャージの転炉以下の工程で処理をまにあわせるようにスケジュールを立案することになる。

・ステップ1：初期状態の把握と連铸铸込作業タ

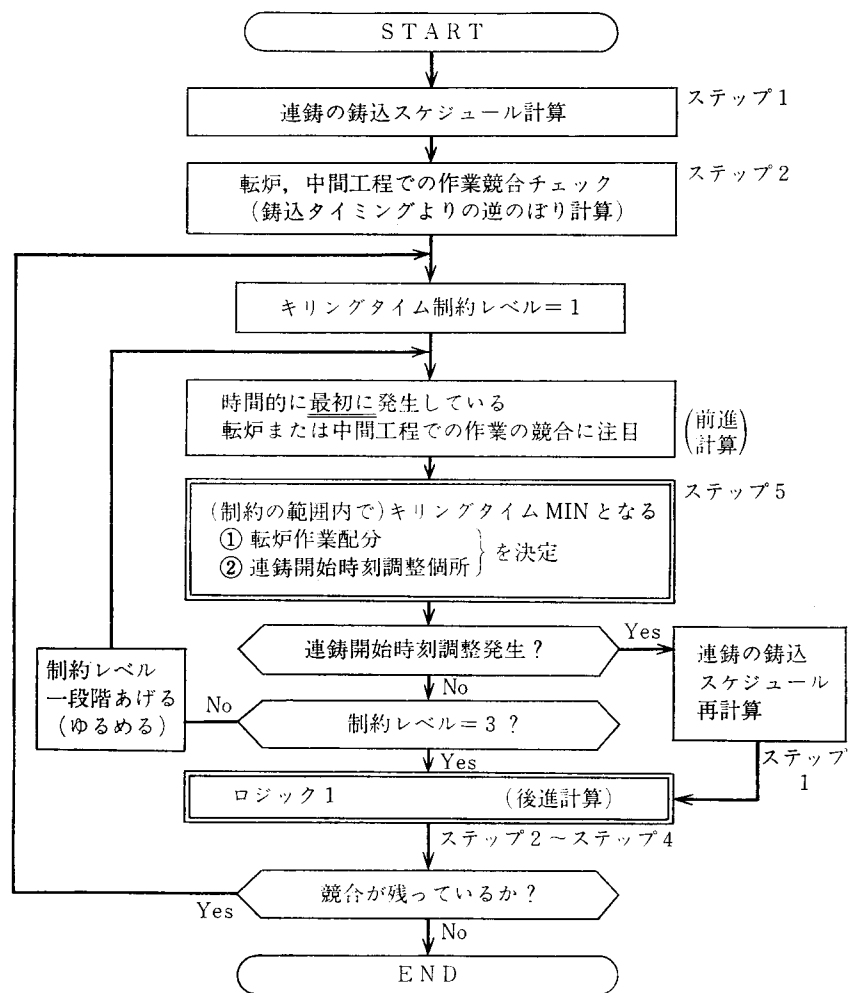
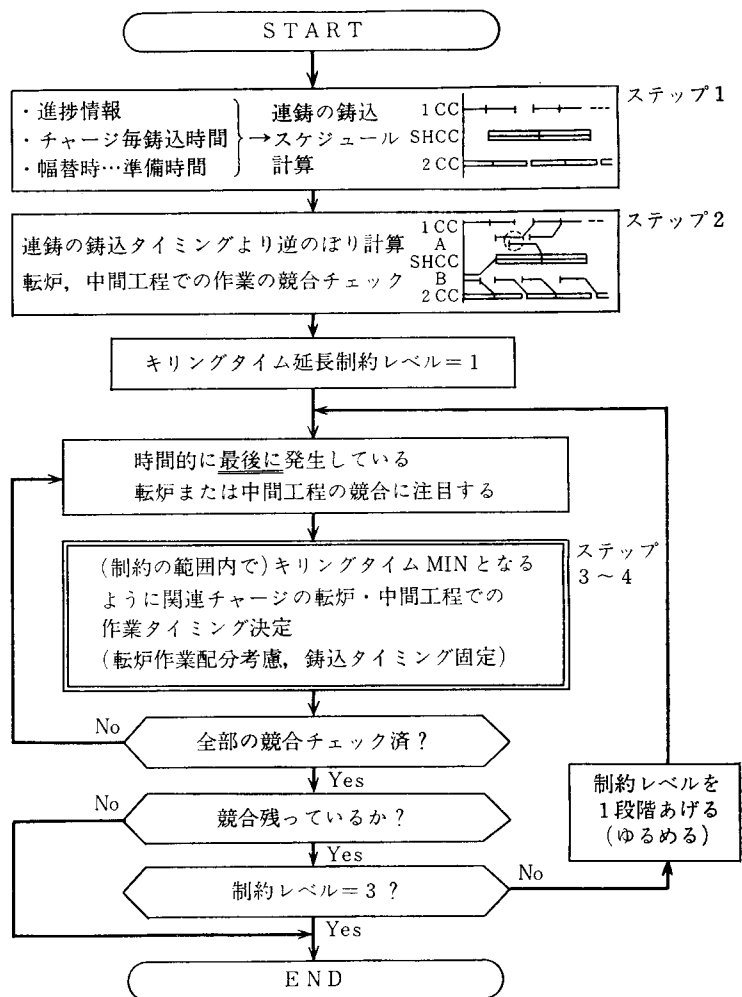


図 6(1) 生産性優先のスケジューリング概略フロー(ロジック 1)

図 6(2) キリングタイム短縮優先のスケジューリング概略フロー(ロジック 2)

イミングの算定。

工場の作業進捗オンライン情報より、各連铸機の作業仕掛情報を得て、铸込順序にしたがい各チャージの铸込開始終了時刻をトライ間のアイドルタイム最短として算定する。

●ステップ2：作業競合のチェック(山積)

各铸込チャージにつき、铸込開始終了時刻から逆登り計算を行なって、転炉および2次精錬工程での処理時間帯をもとめて(最短のキリングタイムすなわち標準工程処理時間と工程間移動時間を用いる)、作業の競合をチェックする。このさい、転炉の割り当ては、1CCはA転炉、2CCはB転炉の原則にしたがい、小型連铸機のチャージについては競合のない転炉に割り当て、競合があれば未定としておく。

以下のステップでは、作業競合により必然的に発生するキリングタイムの延長を評価するために、鋼種ごとにレベル1から3までの許容時間制約を設定して、逐次制約を緩和しながら作業時間帯の調整を行っていく方法をとっている。

●ステップ3：作業競合の時間帯調整(山崩し)

次に時間帯でみて最後に発生している作業競合から順に作業時間帯調整を行っていく。すなわち、どちらかのチャージを前倒しに作業することで発生するキリングタイム延長(=下工程での待機時間発生)を前述の許容時間制約でチェックし制約内にあるチャージがある場合に、このチャージの前倒しを採用する。

●ステップ4：転炉割り当て未定チャージの処理

小型連铸機などの铸込チャージで転炉割り当て未定のものにつき、2つの転炉で各々ステップ3と同じ方法でキリングタイムの延長を評価し、ペナルティの少ない転炉への作業割り当てを行なう(図7)。

ステップ3、4の処理を制約レベルを緩和しながらくりかえし全体のスケジュールを完成させる。

〈ロジック2〉：キリングタイム短縮最優先のス

ケジュール。

ロジック1に対して、連铸の铸込タイミングの調整すなわちアイドルタイムの延長も許して、キリングタイムの最小化をはかる方法であり、ロジック1にて完全なスケジュールが得られなかった場合に自動的に起動される。機能として、まずロジック1のステップ3、4の処理の前に次のステップ5を行なう。

●ステップ5：ドライ間のアイドルタイム調整

残っている転炉の割り当て未定チャージについて、先頭のものに注目する。この転炉割り当てを検討するさいに、当該チャージの铸込タイミングの調整も含めて、キリングタイム延長とアイドルタイム延長を評価して、トライの铸込開始時刻調整の採否を決定する。

図8は転炉の割り当て未定チャージが、トライの先頭でないため铸込時刻の調整をしない場合の検討事例である。

この結果発生する铸込時間帯の調整は、その後の全体の処理スケジュールに影響するため、ロジック1を用いて铸込作業スケジュールの算定からはじまって、ステップ5でのキリング延長の制約レベルや、転炉割り当て結果の情報を勘案しながら、作業競合の調整を行なう。

上記処理を転炉未定チャージがなくなるまでくりかえすことでスケジュールを完成させる。

なお、これらのロジックでは、制約条件を緩和しても作業競合の調整や、転炉の割り当て決定ができない場合は、これを放置したまま次の処理を進め、警報を出力するにとどめて担当者の注意をうながす方法をとっている。

4. システムの運用と効果

本稿のスケジュール機能は、操業変動への迅速な対応をはかるため、転炉出鋼完了のオンライン情報をトリガーとして自動的に起動され、数秒で図5のごとく図形出力にて作業スケジュールを各職場に伝達する。

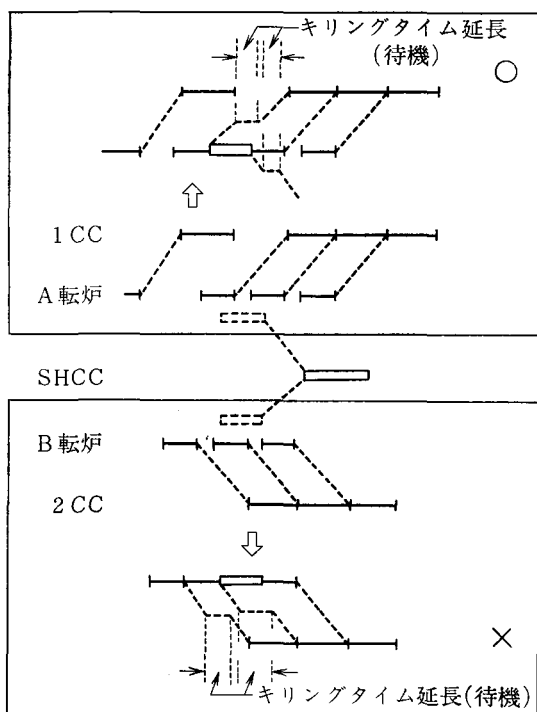


図 7 キリングタイム延長を比較した転炉作業割り当て検討事項(ロジック 1)

一方で工程管制センターにはキリングタイム延長などに関する警報出力し、铸込順序の適正な調整を可能ならしめている。

この結果、システムの実用化により、キリングタイムの平均 7% 短縮を実現し、溶鋼の出鋼温度の引き下げ(出鋼歩留向上)や、取鍋耐火物原単位の改善など、大きな効果をあげることができた。

5. おわりに

鹿島第 1 製鋼工場の物流管制システムは、当製鉄所の熱間工程総合オンライン生産管理システムの一環として開発されたものである。このシステムは、溶銑の運搬からはじまって熱間ミルのスラブヤードまでの広範囲な物流の計画および進捗管理をカバーする機能をもつ大規模なものである。

このシステムの開発の背景は、熱片装入などの直結操業の増加させていく状況下で、工程管理技術のレベルアップ、すなわち操業計画の一貫化が重点目標となっていた。

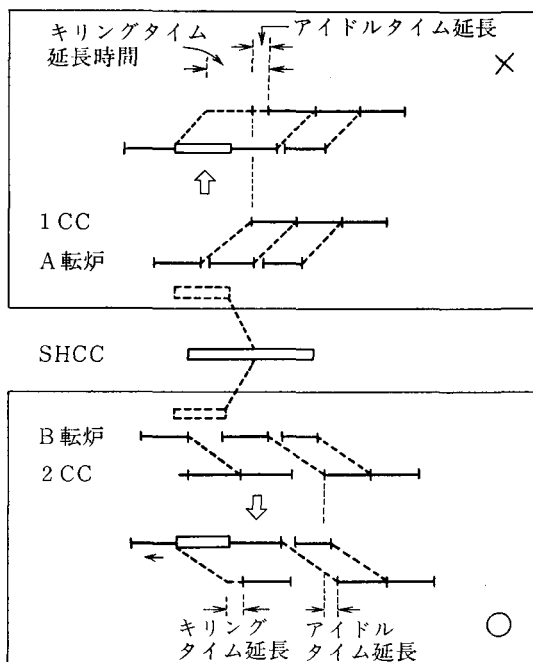


図 8 連铸アイドルタイム延長も考慮した転炉作業割り当て検討事項(ロジック 2)

今後の課題は、さらに精整工程操業や出荷管理にいたるまでの計画管理の一貫化の拡張にあり、当製鉄所でもシステム開発が鋭意推進されている。

参 考 文 献

- [1] H. Yasuda et al.: Practical Algorithm for Production Scheduling of Hot Strip Mill, 第 3 回数理計画シンポジウム論文集(1982).
- [2] 家長他: 製鋼工場の溶鋼処理順序の最適化支援システム, 鉄と鋼, Vol. 68, No. 11, '82-S900
- [3] 田中他: 熱間工程操業・物流管理システムの開発, 鉄と鋼, Vol. 69, No. 5, '83-S317
- [4] 家長他: 製鋼一熱間ミル一貫工程負荷シミュレーター, 鉄と鋼, Vol. 69, No. 5, '83-S318