

# 製鋼・熱延スケジューラ連携による DHCR スケジュール作成方法

濱 利行, 吉住 貴幸

DHCR (Direct Hot Charge Rolling) の操業形態のスケジュールは、薄板鋼板の製造工程において連続鋳造工程と熱間圧延工程のスケジュールを密に連携させて作成する必要のある製鉄業の製造工程スケジュールの中でも非常に難しいスケジュール問題の1つである。キャスト・テンプレートというスラブ列集合を表現するデータ構造を2つのスケジューラで共有させ、Least Commitment 戦略により DHCR スケジュールの自動作成を実現した。

キーワード：DHCR スケジュール，製鋼スケジュール，熱延スケジュール，Least Commitment 戰略

## 1. はじめに

DHCR (Direct Hot Charge Rolling) とは、薄板鋼板の製造工程における連続鋳造工程と熱間圧延(熱延)工程の間に密に連携させる操業形態である。連続鋳造工程の製鋼スケジュール、熱延工程の熱延スケジュールはそれぞれ単独でスケジュール作成をするだけでも多くの制約を考慮しなければならない難しい問題であるが、DHCR ではこの2つの工程のスケジュールを密に連携させる必要があり、さらに難しいスケジュール問題となる。特に日本の製鉄会社では高品質な薄板製品を製造しており、自動化以前の人手によるスケジュール作成においても、経験に基づく非常にきめ細かい配慮がなされたスケジュールを作成している。このような品質に関する細かい制約条件を満たしつつ、納期等の指標を改善したスケジュールを作成することがコンピュータによる自動スケジュール作成の課題となる[3]。

連続鋳造工程では連鋳機の受け皿となるタンディッシュへ流し込まれた溶銑を型(モールド)から引き抜きながら固め、厚さ 25 cm 程度のスラブといわれる矩形の鋼鉄の塊へと形成する。一度に流し込まれる溶銑をチャージと呼び、溶銑が少なくなってくると次のチャージを上から流し込み、タンディッシュの交換のタイミングまでは連続して引き抜きながらスラブを形成する。タンディッシュ交換までのチャージのまとめをキ

ャストと呼び、キャストが連続鋳造工程でのスケジュールの単位となる(図1参照)。

熱延工程では加熱炉で再加熱し高温にしたスラブを圧延装置により高温・高圧で 1~30 mm 程度の厚さに薄く引き伸ばしコイルとして巻き取る。圧延装置のロールは消耗品で一定量のスラブを圧延した後に交換される。通常ロール交換までのスラブの並びをサイクルと呼び、熱延工程でのスケジュール単位となる(図2)

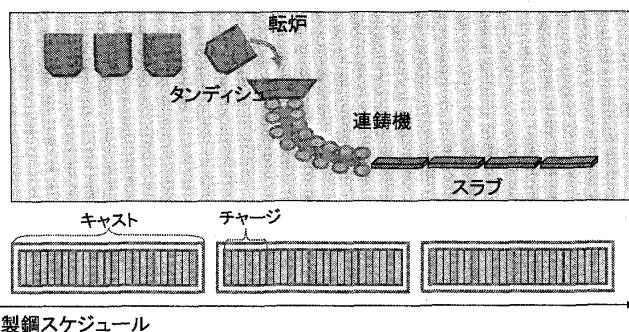


図1 連続鋳造工程と製鋼スケジュール

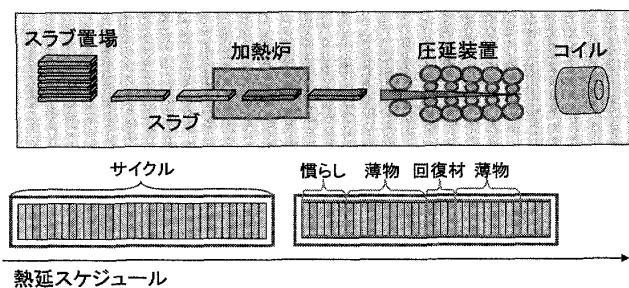


図2 热延工程と热延スケジュール

参照)。コイルはその後、冷間圧延、焼鉄、メッキなどの仕上げのいくつかの工程を経て薄板鋼板として完成する。

連鉄機で製造されたスラブを熱延工程へ連携する操業形態には、CCR (Cold Charge Rolling), HCR (Hot Charge Rolling), DHCR の 3 種類がある。CCR, HCR では、連鉄機で形成されたスラブはスラブ置場へいったん滞貯され、熱延工程のスケジュールが確定するのを待つ。CCR では手入れなどの処理を行うためにスラブが常温まで冷めるのを待ち、手入れ完了後に圧延可能となり熱延工程で圧延する。HCR ではスラブが冷めてしまうのを避けるために、スラブの待ち時間をできるだけ短くした熱延スケジュールを作成し熱延工程で圧延する。一方で、DHCR ではスラブはスラブ置場へ滞貯されることなく熱延工程へ高温のまま直接送られ圧延されるところが HCR, CCR と大きく異なる(図3 参照)。

DHCR の最大のメリットは、連鉄機からスラブを高温のまま熱延工程へ送るため、加熱炉による再加熱の費用が少なくて済むことと、スラブ置場での中間在庫がなくなることである。その反面、DHCR では連鉄機から出てきたスラブはそのままの順番で熱延工程で圧延されることになり、両工程の制約を同時に考慮する必要があり、スケジュール作成の観点からは大きな制約となる。

また、連鉄機で 1 本のスラブを形成するための処理時間と熱延工程で圧延する処理時間を比較すると、熱延工程での処理時間は半分程度である。それゆえに熱延工程の生産性を最大化するために、DHCR で直接熱延工程へ送られるスラブだけでなく、スラブ置場の CCR や HCR のスラブを間に割り込ませることで圧延装置を最大限活用する。圧延装置の生産上の制約条件のほとんどはスラブの前後関係などの圧延順序に関するものである。そのため、熱延スケジュール作成においては、DHCR スラブに HCR/CCR スラブを割り込ませた圧延順序で制約条件を満たす必要があり、DHCR におけるスケジュール作成をさらに難しいものとしている。



図3 DHCR の操業形態

以下では、まず製鋼・熱延スケジューラ連携の基本方針を述べ、次に製鋼スケジューラと熱延スケジューラの構成を簡単に述べる。その後、両スケジューラを連携させるための共有データ構造としてのキャスト・テンプレートとそれを用いた連携方式について述べる。

## 2. 製鋼・熱延スケジューラ連携

DHCR では、製鋼スケジュールと熱延スケジュールでのスラブの処理順序が同じであり、製鋼・熱延工程での制約条件を同時に満たさなければならないので、通常 2 つのスケジュールを同時に作成する。DHCR の操業形態専用のスケジューラを開発するアプローチも可能であるが[4]～[6]、独立した製鋼スケジューラと熱延スケジューラを連携させて両工程のスケジュールを作成する方が実用的である。なぜならば、薄板製品はその性質により CCR, HCR, DHCR のどの操業形態で製造可能であるかが決まり、DHCR の操業形態をとる工場であってもすべての製品を DHCR で製造可能ではない。また定修時には製鋼工程、熱延工程の片方だけが停止している場合があり、その期間も DHCR の操業形態をとることはできない。したがって、CCR, HCR, DHCR の 3 つの操業形態が混在したスケジュールを作成することが実用業務では必須であり、DHCR 専用のスケジューラでは対応が難しい。また、問題解決の観点からも、製鋼工程の制約と熱延工程の制約ではその性質がかなり異なるため、両者を同時に考慮することは問題を必要以上に複雑化することになり、望ましくない。

基本戦略として、製鋼スケジューラと熱延スケジューラの開発においては、それぞれの対象工程の制約条件を効率よく解くためのアルゴリズム開発に専念した。その上で両工程の制約条件をより扱いやすいデータ構造(キャスト・テンプレート)に表現し共有することで、両工程の制約を満たすスラブ列を徐々に詳細化して確定していく Least Commitment 戦略を採用することにした。

## 3. 製鋼スケジューラ

### 3.1 連続铸造工程の基本制約条件

連続铸造工程でのスケジュールの最小単位はチャージでありその大きさは設備によって決まっているが、スラブにしておよそ 10~20 本程度である。同一チャージに割り当てられるスラブは同じ溶銑から形成されるため、鋼種(化学成分量)が同一か非常に近いスラ

ブだけがチャージとして取りまとめ可能である。連鉄機のタンディッシュ交換までの連続したチャージの並びがキャストであり、最長でも10~20チャージで1つのキャストが形成される。キャスト内ではチャージの溶銑を連続して連鉄機へ流し込むため、チャージ境では成分が混ざり合うことになり鋼種の近いチャージだけを接続可能である。また、スラブの幅はモールドによって決まるが、急激に変更することはできないので、キャスト内でスラブ幅は緩やかに変更しなければならない。このように連続铸造工程の基本制約条件は、

- チャージ内での鋼種まとめ
- チャージ間での鋼種遷移
- キャスト内での緩やかなスラブ幅移行

である。これ以外にも設備固有の制約条件、スラブの品質を確保するための制約条件などがあり、詳細な制約条件は数十種類に及ぶのが普通である。

### 3.2 製鋼スケジュール作成手順

製鋼スケジューラは与えられたスラブから制約条件を満たしたキャストを作成し、スケジュールとしてキャストを並べる。図4にIBMワトソン研究所で開発された製鋼スケジューラの基本手順を示す。

最初に鋼種ごとに取り合わせ可能なスラブをまとめたチャージを作成する(1.チャージ作成)。スラブ幅変更の制限、納期集約等の基準により、1つのスラブが重複することを許して、できるだけ多くのチャージの候補を作成し、最終的に得点の高いチャージをset packingの整数計画問題として定式化し選択確定する。

次に選択されたチャージをつないでキャストの候補を生成する(2.キャスト候補作成)。この場合も、1つのチャージが重複することを許して、できるだけ多

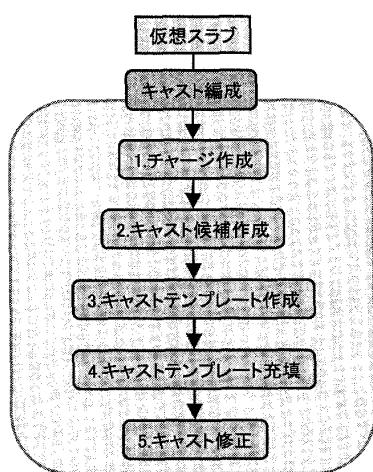


図4 製鋼スケジュール作成手順

くの制約条件を満たすキャストの候補を作成する。キャスト候補の中からチャージの場合と同様に得点の高いキャストをset packingの定式化で選択確定し、確定したキャストからキャスト・テンプレートを作成する(3.キャスト・テンプレート作成、図5参照)。

キャスト・テンプレートは、確定したキャストのスラブ並びから、チャージの鋼種、スラブ幅の情報のみを抜き出したものであり、この製鋼スケジューラのユニークな手法である。確定したキャストはそのままでもほぼ操業に使用可能であるが、チャージからボトムアップに作成されているので、大局的な視点からはあまり良いスケジュールとなっていない場合がある。そこで、キャストの基本の形をテンプレートとして固定して、トップダウンにスラブを入れなおすことで納期などの指標を改善する(4.キャスト・テンプレート充填、図6参照)。

最後にこれまでの手順では対応が困難な詳細な制約条件を満たすために、制約違反箇所のスラブを個別に入替を行ってキャストを修正する(5.キャスト修正)。

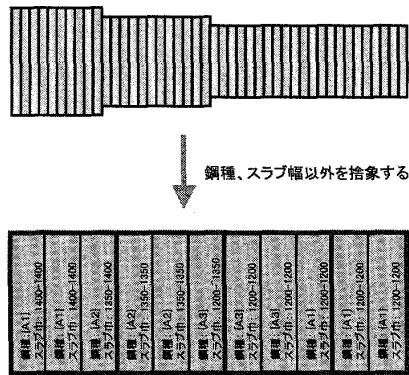


図5 キャスト・テンプレート作成

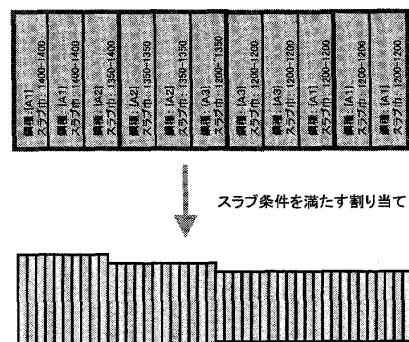


図6 キャスト・テンプレート充填

## 4. 熱延スケジューラ

### 4.1 熱延工程の基本制約条件

熱延工程におけるスケジュールの基本単位はサイクルであり、ロール交換までのスラブの並びである。サイクルは100~150本程度のスラブから構成されるが、高温・高圧による圧延によってスラブの端にあたる部分のロールに傷（エッジ・マーク）が付く。その傷が後続のコイルの表面に影響するのを避けるために、コイル幅が狭くなる順番に（先頭部分は除く）スラブを処理しなければならない。また、目標とするコイル厚に関しては、急激に変えることができないので、緩やかに変化させる必要がある。特にコイル厚の薄い製品（薄物、およそ2.00mm以下）では、非常に緩やかに薄くしていくことと、連続圧延可能本数の上限を守ることが基本の制約条件となっている。製鋼のキャスト編成の場合のチャージのような明確なロットまとめの単位はないが、サイクル内でのコイル厚の推移として厚→薄→厚→薄という並びとなるようなスラブの集約が、熱延工程におけるロットまとめになる。以上のように、熱延工程における基本制約条件は、

- サイクル内での広→狭のコイル幅移行
- 薄物の制限本数内での集約
- サイクル内での緩やかなコイル厚移行

である。製鋼と同様に実際にはこれ以外にも、緩やかな加熱温度移行や表面品質のためのサイクル内位置制約など品質にかかる詳細な制約条件が多数存在する。

### 4.2 熱延スケジュール作成手順

熱延スケジューラは製鋼でスケジュール済みの仮想

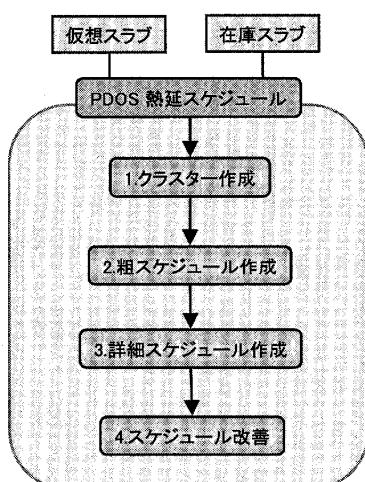


図7 熱延スケジュール作成手順

スラブとすでにスラブ置場に滞貨されている在庫スラブを入力として、制約条件を満たしたサイクルを作成し、スケジュールとしてサイクルを並べる。図7にIBM 東京基礎研究所で開発された熱延スケジューラの基本手順を示す[1][2]。

最初に局所的に制約を満たした10~20本程度のスラブ並び（クラスター）を作成する（1. クラスター作成）。特に薄物はコイル厚の緩やかな減少と連続圧延本数の上限の制約があるので、制約条件に合わせた取りまとめを行う。また、薄物集約の間に置かれる回復材スラブも必要本数が制約条件に規定されているので、制約条件に合わせた取り合わせを行う。他のスラブに関しては、コイル幅移行、コイル厚移行などの制約を満たした10本程度のスラブ並びを作つておく。クラスターでの同一スラブの重複使用は許す。

次にクラスターを並べて初期解としてのサイクルを作成する（2. 粗スケジュール作成）。サイクルを6つ程度のブロックに分割し（サイクル・パターン、図8参照）、クラスターをブロックに割り当てる整数計画問題として定式化する。割り当てに際して、コイル幅広→幅狭、薄物クラスターが隣り合わないなど、クラスター単位で充足可能な制約に関しては制約式として表現して、整数計画問題に取り込む。

粗スケジュールが完成すればほぼサイクルの形状は確定するが、サイクル先頭部分やクラスターの接続部分に制約違反が残っていたりするので、それらを修正しサイクルの初期解とする（3. 詳細スケジュール

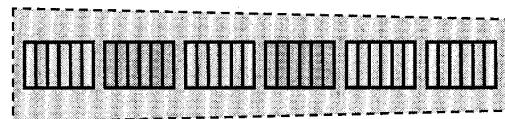


図8 サイクル・パターン

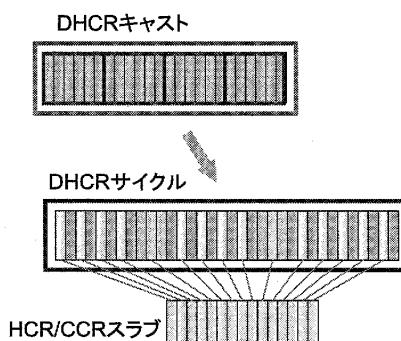


図9 DHCR キャストとサイクルのスラブ並び

作成)。

最後に局所探索により、残った制約違反を解消しつつ、納期等の指標を改善してサイクルを完成させる(4. スケジュール改善)。

## 5. キャスト・テンプレートによる連携

### 5.1 キャスト・テンプレート

DHCR の操業形態では、図 9 に示すようにキャスト内のスラブ並びがそのままの順番でサイクル内の DHCR スラブの並び(間にスラブ置場の HCR/CCR スラブが挟み込まれる)となる。したがって DHCR スラブはキャストでの制約条件と、サイクルでの制約条件を同時に満たした並びとなっていたいなければならない。しかし、キャスト作成時に熱延の制約条件も考慮したスラブ並びを作ることは、両工程のロットまとめの考え方方がかなり異なることもあり、非常に難しくまた問題が複雑になるので、共有のデータ構造を用いて、両工程の制約条件をより分かりやすい表現で参照可能とする連携方式を用いる。

キャスト・テンプレートはもともと製鋼スケジューラでキャストの鋼種・スラブ幅の基本情報だけを保存して、スラブを再充填するために用いられたデータ構造であるが、保存できるスラブの条件を拡張することにより、任意のスラブ並びの集合を表現できるようにし、両工程で望ましいスラブ並びを限定しながらスケジュール作成を進める目的に使用可能である。

キャスト・テンプレートはキャスト・チャージ・プロブからなる階層構造をしている(図 10 参照)。プロブはチャージに割当たるスラブをさらに細かいまとまりへ分類するもので、必要に応じてチャージを任意の数のスラブのまとまりへ分割する。プロブにはその位置へ割当可能なスラブの条件を設定する。現在は、

- 許容スラブ集合
- 禁止スラブ集合
- 割当可能本数(重量)範囲

を定義している。許容スラブ集合の条件を満たし、禁止スラブ集合の条件を満たさないスラブを割当可能本数分だけプロブへ割当可能であると解釈する。

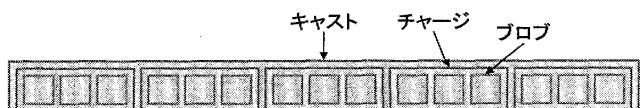


図 10 キャスト・テンプレート

許容・禁止スラブ集合はスラブの属性値の範囲を限定することにより定義する。スラブ幅、コイル幅・厚などの数値属性に関しては、取りうる値の範囲を定義する。また、鋼種、顧客名などの文字列属性に関しては、取りうる値を列挙するか正規表現に似たパターンにより範囲を定義する。製鋼スケジューラでは、鋼種とスラブ幅が基本情報であるのでそれだけを保存していたが、熱延工程の制約条件は対象スラブを指定する際にかなり幅広いスラブ属性を参照することが多く、キャスト・テンプレートの拡張ではスラブの持つすべての静的な属性の範囲指定を可能としている。プロブは1本のスラブに対応する大きさまで分割可能なので、原理的にはキャスト・テンプレートにより任意のスラブ列の集合を表現可能である。

チャージの境界部分は溶銑が混ざり合い高品質なスラブは割当不可能であるので、初期化時にはチャージを最低でも3つのプロブへ分割している。またスラブの幅変更、熱延での薄物部分など、スラブの条件が変わると部分で必要に応じてプロブの分割を細かくしていくことで柔軟にスラブ列集合を定義することが可能である。

### 5.2 Least Commitment 戰略

製鋼スケジューラと熱延スケジューラがそれぞれの制約条件を満たしながら連携するために、キャスト・テンプレートを共有し徐々にその表現するスラブ列集合を限定していく Least Commitment 戰略により DHCR のスケジュールを作成する。図 11 に両スケジューラ連携による DHCR スケジュール作成の手順を示す。

DHCR スケジュールの作成に先立ってスラブ集合

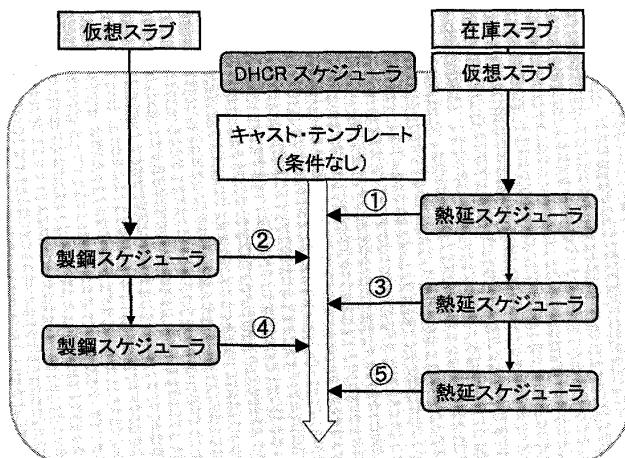


図 11 製鋼・熱延スケジューラ連携

の限定のないキャスト・テンプレートを用意する。この時点ではキャスト・テンプレートは任意のスラブ列集合を表現している。

#### (1) 热延共通の制約条件の設定

热延スケジューラは制約条件を参照し、前後のスラブ並びに依存しない圧延位置の制約条件などから、プロブの禁止スラブ集合の定義を更新し、製鋼スケジューラがそれらのスラブを禁止された位置へ計画することがないようとする。

#### (2) 製鋼制約による鋼種・スラブ幅等の更新

製鋼スケジューラの基本手順にキャスト・テンプレートへの対応機能を追加する。チャージ作成では、キャスト・テンプレートの各チャージに割当可能なスラブ集合のみからチャージを作成し、キャスト候補作成ではキャスト・テンプレートのチャージ並びと合致するキャスト候補のみを作成する。したがって、キャスト候補の選択終了後に得られるキャストは、キャスト・テンプレートの表現するスラブ列集合の1つの要素となっている。

選択されたキャストから、製鋼の制約条件の基本となる鋼種、スラブ幅などの具体的な値を抜き出し、必要に応じてプロブを分割しつつキャスト・テンプレートを更新する。この更新により、キャストとして望まれる鋼種、スラブ幅などの情報が熱延スケジューラへ伝えられることになる。

#### (3) 热延制約によるコイル厚・幅等の更新

热延スケジューラの基本手順にキャスト・テンプレートへの対応機能を追加する。クラスター作成では、DHCR スラブに対してキャスト・テンプレートの各チャージに割当可能なスラブ集合のみからなるクラス

ターを作成しておく。

粗スケジュール作成では、クラスターを割り当てるサイクル・パターンを DHCR 用に拡張し、DHCR スラブ列と HCR/CCR スラブ列を分離し、それぞれのクラスターを別々に割り当てるようとする。整数計画による割当問題の定式化では、上下の対応する DHCR クラスターと HCR/CCR クラスターの間でコイル厚・コイル幅の差が許容範囲内であるという制約を追加し、DHCR スラブと HCR/CCR スラブが混合可能であることをある程度保証する。

粗スケジュールの結果として得られる DHCR スラブの並びは、キャスト・テンプレートの表現するスラブ列集合の1つとなっているだけでなく、間に挿入すべき HCR/CCR スラブも確保されていることになる。得られた DHCR スラブ並びから熱延の制約条件の基本となるコイル厚・幅などの具体的な値を抜き出し、必要に応じてプロブを分割しつつキャスト・テンプレートを更新する。この更新によりサイクルとして望まれるコイル厚・幅などの情報が製鋼スケジューラへ伝えられることになる。

#### (4) DHCR キャストのスラブ並び確定

製鋼スケジューラと熱延スケジューラによるキャスト・テンプレート更新により、この時点で DHCR キャストのスラブ並びとして製鋼・熱延の両工程の制約条件が反映されたキャスト・テンプレートが作成されていると想定できる。製鋼スケジューラのキャスト・テンプレート充填の手続きにより、各プロブの条件を満たすスラブを割り当てることで、キャストのスラブ並びを確定することができる。その後、詳細な制約条件を検証し後処理としてキャスト修正した結果 DHCR キャストのスラブ並びが確定する。

#### (5) DHCR サイクルの HCR/CCR スラブ並び確定

DHCR キャストのスラブ並びは確定しているので、DHCR スラブの間に挿入される HCR/CCR スラブを確定することで DHCR サイクルが完成する。3番目の手順と同じ DHCR サイクル・パターンを使用して、DHCR 側のクラスターは確定した DHCR キャストの

鋼種: [A1] スラブ幅: 1400~1400 スラブ長: 6000~10000 コイル巾: コイル厚:	鋼種: [A1] スラブ幅: 1400~1400 スラブ長: 6000~10000 コイル巾: コイル厚:	鋼種: [A2] スラブ幅: 1350~1350 スラブ長: 6000~10000 コイル巾: コイル厚:	鋼種: [A2] スラブ幅: 1350~1350 スラブ長: 6000~10000 コイル巾: コイル厚:
---	---	---	---

図 12 製鋼スケジューラによるキャスト・テンプレート更新

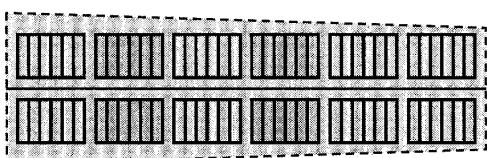


図 13 DHCR サイクル・パターン

鋼種: [A1] スラブ幅: 1400~1400 スラブ長: 6000~10000 コイル巾: 1400~1350 コイル厚: 2.0~2.8	鋼種: [A1] スラブ幅: 1400~1400 スラブ長: 6000~10000 コイル巾: 1350~1350 コイル厚: 2.5~3.5	鋼種: [A2] スラブ幅: 1350~1350 スラブ長: 6000~10000 コイル巾: 1350~1300 コイル厚: 1.8~2.5	鋼種: [A2] スラブ幅: 1350~1350 スラブ長: 6000~10000 コイル巾: 1300~1300 コイル厚: 1.6~2.0
---	---	---	---

図 14 热延スケジューラによるキャスト・テンプレート更新

チャージをクラスターとみなして固定し、HCR/CCR 側のクラスターの割り当てと同じ整数計画の定式化によって求める。

HCR/CCR スラブを混在させた DHCR サイクルのスラブ並びを求めて初期解とし、局所探索により詳細な制約条件に対する修正を行い DHCR サイクルのスラブ並びが確定する。

## 6. DHCR サイクルでのスラブの混合方式

キャスト・テンプレートにより製鋼・熱延スケジューラを連携させて、DHCR キャストのスラブ並びを確定する方法に関して述べたが、熱延スケジューラは確定した DHCR スラブの並びにスラブ置場に滞留されている HCR/CCR スラブを決められた規則に基づいて混合する必要がある。

粗スケジュールの段階で、DHCR クラスターと HCR/CCR クラスターの平均的なコイル厚・幅の対応は取っているが、混合されたスラブ並びでの厳密な対応はとれていない。熱延スケジューラは最終的には局所探索により制約条件を厳密にチェックしながら解を改善するとはいえ、できる限り違反の少ない初期解から局所探索を始めるのが望ましい。そこで熱延スケジュール作成手順の詳細スケジュール作成の拡張として、DHCR スラブと HCR/CCR スラブの混合方式を追加する。

最適なスラブの混合並びを決定するために図 15 に示すような特殊な格子状のグラフ上での最短経路アルゴリズムを使用する。格子の左外周には HCR/CCR スラブが粗スケジュールで確定した順番に並び、上外

周には DHCR スラブが DHCR キャストの順番に並んでいる。格子の左上の節から右下の節への経路はすべての可能な混合並びを表現しており、枝に適当な重みを設定することで、最短経路が制約違反が少なく与えられた混合規則により近い初期解として最適なスラブの混合並びとなる。

通常の格子とは異なり、内部の格子点は 2 つの節に分かれている。1 つは直前のスラブが DHCR スラブである場合で、もう 1 つは直前のスラブが HCR/CCR スラブである場合を表現している。枝に重みを設定するにあたって、DHCR どうし、DHCR と HCR/CCR、HCR/CCR どうしのスラブの並びでは、コイル厚・幅の移行の基準が異なっていたり、DHCR スラブの炉内での待ち時間の評価が異なったり、DHCR スラブと HCR/CCR スラブの混合を考えるうえで最低限必要な区別をするためである。ただし、3 つ以上のスラブ並びに依存するような評価値の区別は無視している。

混合規則は製鉄会社によってかなり異なっているが、このように混合の良さを隣り合うスラブ間の良さとして枝の重みに表現することで、異なる混合規則に対しても柔軟に対応可能となる。この混合並び決定方式を用いて、粗スケジュールによって割り当てられたクラスターのスラブを最適に混合し局所探索の初期解とする。

## 7. 最後に

DHCR の操業形態での製鋼・熱延スケジュールの作成方式として、キャスト・テンプレートという任意のスラブ列集合を表現可能なデータ構造を両スケジューラで共有させ連携させる方式について述べた。スケジュール結果に関してはデータの関係で掲載することができないが、この連携方式で開発された DHCR スケジューラの 1 つが現在稼働中である。手編集なしに操業可能な完全自動のスケジューラの作成はまだまだ難しいが、鋼種選択、薄物取り込み、納期遵守などの点では実用レベルに達したスケジューラとなっている。

一口に DHCR スケジュールといつても、製鉄会社の工場ごとの製鋼・熱延設備や扱う薄板鋼板の製品種別によって具体的な制約条件やスケジュール作成に対する考え方も異なっており、1 つのスケジューラの実装が他の工場でもすぐに利用できるほど万能ではない。しかしながら、提案した連携方式では、両工程の制約条件を許容されるスラブ列集合へと翻訳したあとに共有しており、個別の制約条件には依存しない。それ故

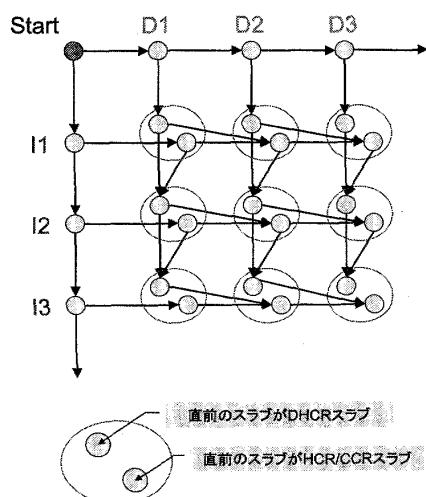


図 15 スラブ混合最適化のための格子状グラフ

に異なる制約条件に対しても柔軟に対応が可能であり、種々のケースの DHCR 操業形態に対する基本的なスケジューラ連携の枠組みを提供できているものと考えている。

#### 参考文献

- [1] 濱利行, 吉住貴幸, 「薄板熱延工程のためのスケジューリング手法」, スケジューリング・シンポジウム予稿集, 2006.
- [2] 濱利行, 吉住貴幸, 岡野裕之, 「製鋼熱延同期スケジュールー中国鋼鉄様における事例一」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, 302-303, 2009.
- [3] L. Tang, J. Liu and A. Rong, "A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production," European Journal of Operational Research, Vol. 133, 1-20, 2001.
- [4] S. Li, H. Liang and Y. Huang, "Slab Cluster Based Planning and Scheduling Method of CC-DHCR," In Proceedings of the International Conference on Advanced Computer Control, 393-396, 2009.
- [5] Z. Lv, G. Xu and X. Zhang, "Application of an Intelligent Integrated Planning and Scheduling System for DHCR," In Proceedings of the International Workshop on Intelligent Systems and Applications, 1-4, 2009.
- [6] L. Zhimin, X. Jinwu and Z. Xuejun, "Research and Application of an Intelligent Integrated Planning and Scheduling System," In Proceedings of the Global Congress on Intelligent Systems, 567-571, 2009.