

(論文)

## 意思決定支援技術によるキャスト編成の高度化

### Improved Casting Scheduling Using Interactive Computer-assisted Decision Support Technology



福田啓一\*1  
Keiichi FUKUDA



梶崎博司\*2 (博士(工学))  
Dr. Hiroshi NARAZAKI



鎌田 卓\*3  
Suguru KAMADA

This paper introduces an interactive scheduling system to assist in determining the 4order of steel types for a continuous casting machine. The scheduling requires taking into account various constraints and priorities that may affect the quality, delivery and productivity, etc. In addition, those constraints and priorities can vary depending on the daily operational conditions, so extensive experience and knowledge are indispensable when scheduling. Hence, a tool has been developed which presents information on the interactive interface by utilizing the data with maximum effectiveness to enable scheduling workers to make more appropriate decisions.

まえがき = 製鉄所においては、溶銑予備処理や転炉、2次精錬、連続鋳造機などの設備から構成される製鋼工程を経てさまざまな鋼材が生産されている。また、これらの鋼材の生産にあたって、例えば連続鋳造機における鋼種の鋳造順は、あらかじめ立案した生産計画に従って決められている。その鋳造順の計画を立案することや変更することを「キャスト編成(型組み)」と呼ぶ。

連続鋳造機では、溶鋼の入った取鍋1杯分を生産単位「1チャージ」とし、さまざまな鋼種が連続的に鋳造される。連続鋳造機1基あたり1日十数~数十チャージ鋳造する。鋳造順の計画を立案する際は、1旬(=10日)分と前旬の未鋳造分のチャージを合わせた数百チャージに上る鋼種を対象とする。その際、設備などの制約条件や工程納期(≒圧延日)を順守することに加えて、成分が同一ないし類似する鋼種のチャージをできるだけ連続的に鋳造して歩留りを向上させることが重要となる。

こうした生産計画立案問題に対し、これまでは最適化技術による解決が試みられてきた<sup>1)~4)</sup>。しかしながら、最適化技術で問題を解決するためには、制約条件や評価指標を数値化・定式化する必要がある。また、制約条件や評価指標は設備、操業など多岐にわたるうえに、操業状況や納期などの生産方針に応じてその重要度が日々変化するため、数値化・定式化は難しい。また、最適化技術では組み合わせパターンの探索に膨大な時間がかかる。このため、急な計画変更への対応が難しく、頻繁に変更がある場合への適用は困難である。さらに、最適化技術で得られた計画案は立案過程がブラックボックスであるため、計画案が本当に最適であるという妥当性の説明・評価が困難であり、実務面での有用性に限界がある。

そこで、その時々々の操業状況に応じて型組み担当者が

臨機応変に判断することを支援する「意思決定支援」のアプローチが実用的観点から有用であると考えられる。しかしながらその一方で、担当者の経験や知識のみに頼る状況では、担当者が交代した際に計画ミスが発生するなどの問題が生じやすい。

上記背景より、型組み担当者に情報を整理して提示するだけでなく、鋼種の類似構造や問題の制約構造を過去の実績データなどから抽出して可視化し、型組み担当者の判断支援、知識補完を重視した型組みの「支援ツール」の開発に取り組んだ<sup>5)</sup>。今回開発したツールの活用によって鋳造順決定の判断を支援することができるようになったと同時に、業務効率化と新人担当者の知識補完による技能向上を実現することができた。

## 1. キャスト編成問題に対するアプローチ

### 1.1 キャスト編成問題の概要

型組み業務は、連続鋳造機の生産単位である取鍋1杯を「1チャージ」としてその鋳造順を決定する業務である。各チャージはそれぞれ一つの鋼種に対応し、成分値や鋳造速度などの製造条件が異なっている。また、鋳造順は「キャスト」単位で計画を立案・変更する。キャストは、一つの「タンディッシュ」を使用して鋳造する単位である。タンディッシュは、複数鋳型の分湯や、鋳型に溶鋼を流し込む取鍋交換時の溶鋼バッファとして、取鍋の溶鋼をいったん受ける容器である。また、タンディッシュは十数~数十チャージ鋳造するたびに交換し、その都度新しいキャストへ切り替わる。タンディッシュが切り替わることにより、鋼種間の成分差や大半の制約が一度途切れる。このため、鋳造順の計画立案・変更は、キャストごとに分割し、キャスト単位で行われる。本稿

\*1 技術開発本部 生産システム研究所 \*2 技術開発本部 生産システム研究所 (現 技術開発本部 AI推進プロジェクト部) \*3 鉄鋼事業部門 加古川製鉄所 工程部

ではこれを『キャスト編成』と呼ぶ。

キャスト編成は鋼種名や各チャージの納期などを考慮して決定するが、その際以下のような制約条件を満たす必要がある。

・鋼種の隣接制約：

溶鋼の成分差などの理由により、連続して製造できない鋼種の組み合わせがある。

・キャスト配置制約：

特定の鋼種に対し、キャストにおけるスケジュール上の配置場所が指定されている。

上記以外にも、連続して製造できるチャージ数に上限が設定されている「チャージ数制約」など、さまざまな制約が数十種類、計百数十個存在する。しかしながら今回開発したツールでは、出現頻度が高い重要な制約である「鋼種の隣接制約」および「キャスト配置制約」の2種類を考慮した。

### 1.2 キャスト編成の手順・パターン分析

ツールの仕様を検討するに先立ち、どのような「支援ツール」を導入すれば効果的であるのか明確化する必要がある。このため、過去に実際に行ったキャスト編成の作業実績データを収集し分析した。加えて、現場での型組み業務を現地で観察した。これらにより、キャスト編成における担当者の思考判断パターンを整理した。

その結果、キャスト編成における基本的な着眼点は主に2点あることが分かった。

- ・各チャージにひも付いた受注の「納期」
- ・各チャージに設定された鋼種の「成分値」  
( castingの隣接鋼種間の成分差)

担当者がこの2点を意識してキャスト編成する際、ある一定の編成手順、および編成パターンになっていることが分かった。

編成手順の大まかな流れは以下のとおりである。

- ① 鋼種名 (成分値) を基に、成分値に近い鋼種同士でグループ分けをする。(本グループを「鋼種グループ」と呼ぶ。)
- ② 製造量の多い鋼種グループに対して、成分値が離れている特殊な鋼種グループ、あるいはキャストの配置場所が決まっている鋼種グループを納期に近い順にキャスト上へ仮配置する。(優先的に仮配置する鋼種を「キー鋼種」と呼ぶ。)
- ③ 仮配置したキー鋼種を基準に、制約や歩留りを考慮しながらキー鋼種の間を製造量の多い鋼種グループでつなぎ、キャストを完成させる。

このようなキャスト編成では鋼種グループで並べている。このため、急な注文や納期変更、試験落ちによる再製造などが発生した場合においても、鋼種グループ内で鋼種を入れ替えれば歩留りに影響せず、変動を容易に吸収できることが分かった。

具体的な分析例を表1に示す。表1は、キャスト編成立案時の作業ログを基に、チャージの配置着手順を抽出した結果を表している。チャージは、上で述べた「キー鋼種」、製造量の多い鋼種グループである「Gr A」および「Gr B」の計3種類に分類した。また、納期を軸に

表1 キャスト編成チャージ配置着手順

Table 1 Charge arrangement step in casting scheduling

Delivery	steel group for arrangement	arrangement Charge (%)	remaining Key steel (%)	remaining Gr A (%)	remaining Gr B (%)	remaining total (%)
			37.6	40.3	22.1	100.0
D1	Gr B	2.7	37.6	40.3	19.5	97.3
(light)	Key steel	0.4	37.2	40.3	19.5	96.9
	Gr B	2.2	37.2	40.3	17.3	94.7
D2	Gr A	0.9	37.2	39.4	17.3	93.8
D3	Key steel	2.2	35.0	39.4	17.3	91.6
#	#	1.3	33.6	39.4	17.3	90.3
D4	Gr B	0.4	33.6	39.4	16.8	89.8
	Key steel	2.7	31.0	39.4	16.8	87.2
D2	Gr A	0.4	31.0	38.9	16.8	86.7
D1	Gr B	1.8	31.0	38.9	15.0	85.0
D3	Key steel	0.9	30.1	38.9	15.0	84.1
D2	Gr B	0.9	30.1	38.9	14.2	83.2
D3	#	0.4	30.1	38.9	13.7	82.7
D2	Key steel	1.3	28.8	38.9	13.7	81.4
D3	#	0.4	28.3	38.9	13.7	81.0
D1	Gr B	1.8	28.3	38.9	11.9	79.2
D2	Key steel	1.3	27.0	38.9	11.9	77.9
	Gr B	2.7	27.0	38.9	9.3	75.2
D1	Key steel	1.8	25.2	38.9	9.3	73.5
D2	Gr B	3.1	25.2	38.9	6.2	70.4
D3	Key steel	0.4	24.8	38.9	6.2	69.9
	Gr B	0.9	24.8	38.9	5.3	69.0
D2	Key steel	1.8	23.0	38.9	5.3	67.3
D3	Gr A	0.4	23.0	38.9	5.3	66.8
D1	#	3.1	23.0	35.4	5.3	63.7
D2	Key steel	2.7	20.4	35.4	5.3	61.1
D3	Gr A	0.4	20.4	35.0	5.3	60.6
...						
D4	#	0.9	11.9	12.8	4.0	28.8
D2	Key steel	1.8	10.2	12.8	4.0	27.0
D5	#	1.3	8.8	12.8	4.0	25.7
D4	Gr A	0.9	8.8	11.9	4.0	24.8
D3	#	0.4	8.8	11.5	4.0	24.3
D4	#	0.4	8.8	11.1	4.0	23.3
D3	Key steel	0.4	8.4	11.1	4.0	23.5
D4	Gr A	3.1	8.4	8.0	4.0	20.4
D5	#	2.2	8.4	5.8	4.0	18.1
D4	Gr B	3.5	8.4	5.8	0.4	14.6
D5	#	0.4	8.4	5.8	0.0	14.2
D5	Gr A	1.8	8.4	4.0	0.0	12.4
D4	Key steel	1.8	6.6	4.0	0.0	10.6
D4	#	1.8	4.9	4.0	0.0	8.8
D5	Gr A	1.8	4.9	2.2	0.0	7.1
D4	Key steel	2.2	2.7	2.2	0.0	4.9
D4	#	0.4	2.2	2.2	0.0	4.4
D5	#	0.9	1.3	2.2	0.0	3.5
	Gr A	0.4	1.3	1.8	0.0	3.1
D4	Key steel	1.3	0.0	1.8	0.0	1.8
	Gr A	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0

チャージをD1からD5の5種類に分類し、納期に近いチャージほど若い数字にしている。

表より、キー鋼種は定期的に着手しており、キー鋼種とキー鋼種の間で製造量の多い鋼種グループ「Gr A」および「Gr B」に着手していることが分かる。また、前半に配置着手しているチャージは納期の近いD1~D3がメインであったが、後半になるほど納期に余裕があるD3~D5がメインになっていることが分かる。

上記のような知見は、担当者へのヒアリングや業務観察のみならず、実際の作業実績データを分析することにより得られたものである。操業の実績データを分析することにより、知識やノウハウの整理、それを反映したシステム設計が従来に比べてより網羅的・効率的に行えるようになった。

## 2. キャスト編成意思決定支援ツールの開発

1.2節で述べたキャストの編成手順を基に、下記3点をキャスト編成支援の主要機能とすることにした。

### (1) 問題構造把握の支援

キャスト編成対象のチャージの鋼種構成を迅速に把握し、鋼種選択の手順を支援する。

### (2) 鋼種配列順序の発想支援

鋼種構成と実績データから適切な編成パターンを表示し、鋼種の仮配置を支援する。

### (3) 鋼種隣接制約情報のガイダンス

仮配置した鋼種に隣接させ、制約を順守したより歩留りの良い鋼種の選択を支援する。

### 2.1 問題構造把握の支援

成分と納期の2次元マップにして製造対象のチャージ一覧を表示する「問題構造の視覚化」を実現した。これにより、キー鋼種の種類やその種類数などキャスト編成

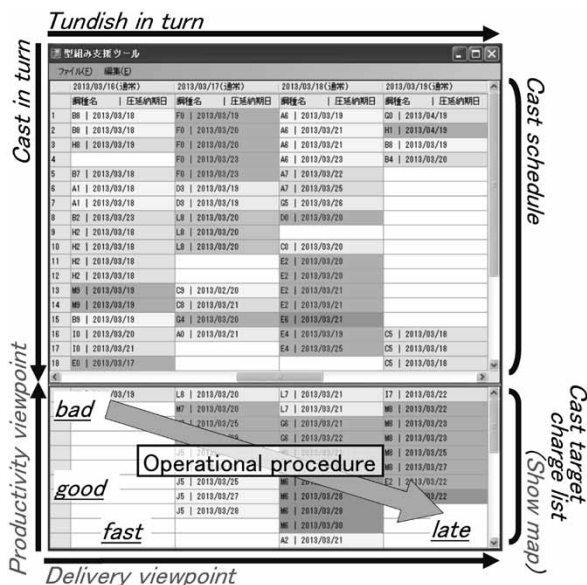


図1 キャスト編成における問題構造可視化

Fig. 1 Visualization of problem structure of casting scheduling problem

対象のチャージの鋼種構成を迅速に把握できるようになり、どの casting 対象の鋼種から仮配置すべきか、担当者が容易に判断できるようにした。

実際の画面を図1に示す。画面は上下2領域で構成されており、上領域にはキャスト編成の計画状況が表示され、下領域には casting 対象となる鋼種がグループ化（グループについては後述）されて納期順にまとめて表示されている。担当者は、上領域の空き状況（計画未定領域）、および下領域の納期順／グループ単位の鋼種分布を見て、鋼種を下領域から上領域にドラッグ&ドロップしてキャスト編成を進める。

担当者は、「キー鋼種」をキャスト編成の軸として casting 量の多い二つの鋼種グループ間を埋める操作を行う。縦軸上部にキー鋼種、縦軸下部に casting 量の多い鋼種グループを上から下に表示することにより、鋼種配列が着手順と一致するようにした。横軸も同様に、納期順に左から右へ配置することによって左から右への鋼種配列が着手順と一致するようにした。

従来、 casting 枠の制約、および casting 対象鋼種の種類や数、納期などの情報をリストから熟練担当者が経験に基づく判断によって鋼種を選択していた。今回、このようにマップ化したことにより、左上部から右下部への順で鋼種を選択するだけで熟練担当者と同様のキャスト編成が容易にできるようになった。

## 2.2 鋼種配列順序の発想支援

熟練担当者は、さまざまな種類の鋼種をどのように組み合わせる casting 順を作成するかといったキャストの編成パターンを経験知として数多く蓄積している。そうした経験知に基づいて鋼種を仮配置した後、制約・優先度などに基づいて微調整し、キャスト編成を仕上げている。そこで、実績データに基づく選択可能な全ての編成パターンを担当者に提示することにより、より良い歩留りの編成パターンを想起させることができないか試みた。

実績データには数百種類の鋼種が存在する。しかし、鋼種配列が完全に一致するパターンは過去数年間を対象

にしてもまれである。そのため、鋼種（鋼種名）のまま実績データと照らし合わせて編成パターンを抽出することは難しい。そこで、鋼種（鋼種名）を鋼種グループに置き換えて取り扱うことにより、鋼種配列をパターン化することを検討した。

鋼種グループは、鋼種の成分を基にクラスタリング（グループ化）して作成した。クラスタリングとは、データの集まりをデータ間の類似度に基づいて複数の部分集合であるクラスタ（グループ）に切り分ける手法である。この手法を用い、鋼種間の成分差の類似度に基づいて鋼種を複数の鋼種クラスタに分けた。

なお、クラスタリングの手法として、階層的クラスタリング<sup>6)</sup>を使用した。階層的クラスタリングとは、個々のデータを一つのクラスタとして設定し、クラスタ間の類似度を計算して最も類似しているクラスタを併合する処理を繰り返す手法である。この手法を用いると、鋼種をクラスタとしてクラスタ間の成分差で類似度を計算し、最も成分差の近いクラスタを併合する処理を繰り返すこととなる。また、クラスタリングの際、炭素など成分ごとの差に対して、それらの鋼種を連続 casting した場合の歩留りへの影響度合いにより重み付けをした。

ある1句の casting 鋼種を用いてクラスタリングした結果（樹形図）を図2に示す。下の階層から上の階層に向かうほど枝が結合されていることが分かる。それがクラスタの併合である。階層的クラスタリングの併合する処理を図2の横破線で中断すると、それより下の階層の鋼種一群（点線で囲った部分）は同一鋼種クラスタ（鋼種グループ）となる。図2では、下の階層のクラスタは複数の鋼種グループに分けられ、鋼種の約7割が casting 量の多い鋼種グループとなった。また、上の階層の8クラスタほどの鋼種にも併合されなかった鋼種である。すなわち、成分が他の鋼種と離れている「キー鋼種」である。

クラスタリングで得られた鋼種グループ／キー鋼種が、キャスト編成する際の鋼種グループ／キー鋼種と一

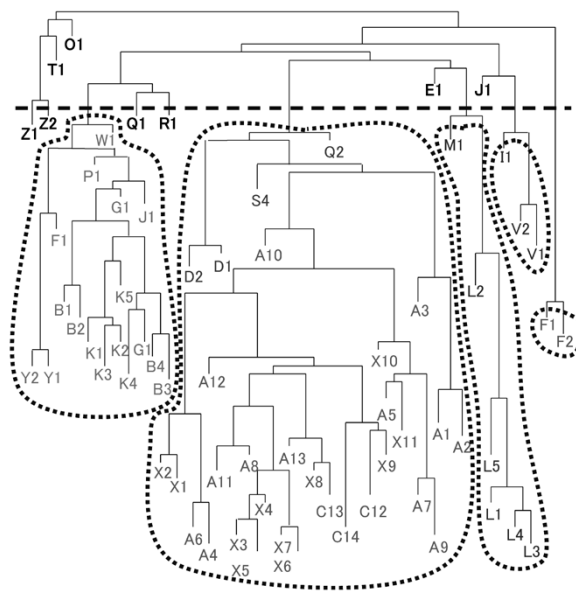


図2 鋼種成分の差の値を用いた階層的クラスタリング（樹形図）  
Fig. 2 Tree diagram of hierarchical clustering with using difference of ingredients of steels

致しているかを型組み担当者に確認した。その結果、ほぼ同一であることが分かり、クラスタリング手法で鋼種グループが抽出可能であることが実証できた。

つぎに、抽出した鋼種グループを用いて、実績データから casting パターンが抽出可能か検討した。 casting 順 (キャスト編成) は、一つのクラスタ (鋼種グループ) を「島」とみなし、いくつかの島を一筆書きの要領で結ぶことによって表現できる。図3にそのイメージを示す。実線のだ円を島とし、その島に属する鋼種を各島の中に配置している。縦軸および横軸は成分値を表しており、距離は成分差である。実際には溶鋼に含まれる成分は十数種類にも及ぶため、2次元的に表現することは難しい。そこでここでは、縦軸と横軸に複数の成分を織り交ぜてイメージ図として簡略的に描いた。鋼種グループやキー鋼種と同様に、このイメージ図についても、キャスト編成する際の鋼種グループ間の成分差に対する型組み担当者の経験や感覚と一致しているかを確認した。その結果、担当者も図3のようなグループ間の成分差 (歩留り) を感覚的に把握、認識していることが確認できた。

最後に、それらの配列 ( casting 順) を、点線で重ね合わせると、図3の場合、下記のような特徴を持つ「またぎパターン (編成パターン)」があることが分かった。

- (1) ハッチングしているだ円は、 casting 量が多い二つの鋼種グループである。この二つの鋼種グループをつなぐ場合、直接つなぐのではなく、それ以外のキー鋼種や特殊な成分の鋼種グループを経由している場合が多い。
- (2) キャストの末尾 (タンディッシュ交換前) は、キー鋼種や特殊な成分の鋼種グループで終わる場合が多い。つまり、担当者が使用している編成パターンは特殊な成分であるキー鋼種をキャスト全体の歩留りを低下させることなく、どのように埋め込むかがキャスト編成の最も重要なノウハウであることを発見した。

これらの知見を活用し、過去実施した全てのキャスト編成パターンを歩留りなどの評価指標で重み付けして担当者へ提示するようにした。これにより、担当者がより良い歩留りの編成パターンが想起できるよう支援するよ

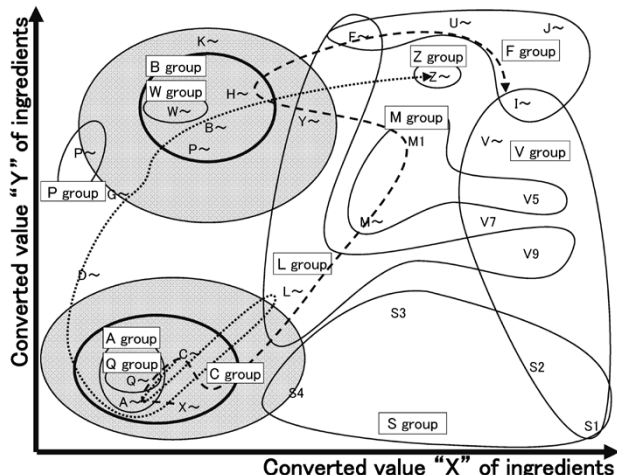


図3 鋼種グループでのキャスト編成遷移イメージ  
Fig. 3 Images of casting pattern using converted ingredient map

うにした。

図4にキャスト編成ガイダンス画面を示す。画面右側の鋼種名一覧に対し、その鋼種のグループが含まれる casting パターンを画面左側に表示している。この例においては、画面右側の casting 対象となる鋼種名に対し、その一文字目がグループ名を表しており、どの casting パターンを見てもほぼ「C-A-C~」の編成パターンで始まることが分かる。また、歩留り実績の平均値・最小値・最大値を計算し、歩留りが良い順に表示している。

この機能により、これまで習熟することで獲得していた熟練担当者の編成パターンを、体系的な知識として合理的に活用できるようになった。

### 2.3 鋼種隣接制約把握の支援

鋼種配列を決める段階では個々の鋼種の隣接制約が多数存在する。そのため、経験の少ない担当者がこのような制約を覚えるには相応の時間を要する。また、見落としなども発生しやすい。そこで、2.2節で述べた俯瞰 (ふかん) 的な視点での鋼種配列順序の発想支援に加え、隣接制約をガイダンスする制約知識補完機能を実現した。

過去の配列実績を基に、異なる鋼種を連続して casting した回数などから「隣接しやすさ」を定量的に指標化し、実際の計画立案・変更時に、容易に参照できるようにした。そのガイダンス画面を図5に示す。



図4 鋼種配列順序の発想支援  
Fig. 4 Suggested group arrangement patterns

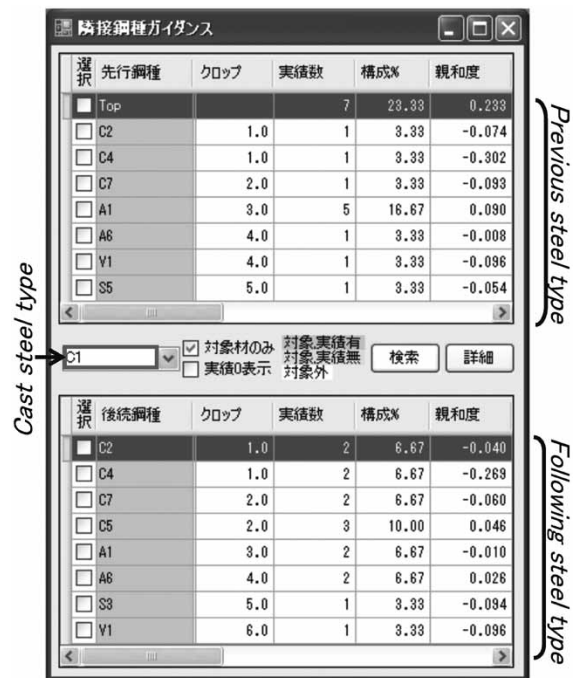


図5 鋼種隣接制約情報の表示  
Fig. 5 Display of possible neighboring steel types and incurring crops

ガイダンス画面において、鑄造する鋼種名を中央部分の入力ボックスに指定すると、上半分の領域に先行鋼種（過去に鑄造した鋼種のうち、当該鋼種の直前に鑄造した実績のある鋼種の一覧）を、下半分の領域に後続鋼種（過去に鑄造した鋼種のうち、当該鋼種の直後に鑄造した実績のある鋼種の一覧）を表示する。また、先行鋼種／後続鋼種一覧に表示している各鋼種に対し、鑄造鋼種と隣接した場合の「クropp量（＝歩留り）」や過去に隣接して鑄造した「実績数」などの評価指標を表示している。「実績数」は単に隣接回数を表示しているだけでなく、隣接制約違反か否かを判断できる指標になる。実績が存在する場合、過去に隣接して鑄造した鋼種であることを意味し、隣接可能な鋼種と判断できる。

図5の例では、鑄造する鋼種が「C1」であり、その後続鋼種は実績数よりC～の鋼種に隣接して配置しているケースが多く、先行鋼種は実績数よりTop（＝キャスト先頭に配置）やA1の鋼種に偏って配置していることを表している。つまり、本鋼種はTopやA1鋼種の後続に配置し、その後にC～の鋼種を配置するケースが多いことを示している。また同時に、歩留りも評価指標として表示している。先行鋼種／後続鋼種の中からより良い鋼種を選択する場合、実績数が1以上の鋼種の中から最も歩留りが良い鋼種を選択すれば良いことになる。

最適化技術で問題を解決する際は、制約条件のルールを網羅的に整理する必要がある。しかしながらキャスト編成では、設備、操業、品質などのルールが多岐にわたるため網羅的整理は困難であった。これに対して本支援アプローチでは、実績から制約条件のルールが抽出できるため、整理する必要がない。また、制約条件のルールが変更になった場合、そのルールで鑄造した結果が実績に反映されてこのガイダンスの基となる実績に含まれることになる。このため、最適化の際に必要なであったルールのメンテナンスが不要になった。

### 3. 支援ツールの概要および評価

「鋼種配列順序の発想支援」、「問題構造把握の支援」、および「鋼種隣接制約把握の支援」という三つの支援機能を導入した支援ツールを開発した。このツールを評価するため、下記のような手順で試用した。

- ①新規に生産するチャージ一覧をツールに取り込み、鋼種配列順序の発想支援機能の下領域に表示する。
- ②鋼種配列順序の発想支援機能にて状況を確認し、その下領域の左上に表示している納期が近いキー鋼種から着手し、鑄造順を作成する。
- ③必要に応じて数鋼種を選択し、問題構造把握の支援機能を使用して、歩留り情報を参考にたまかな鑄造パターンを決定する。
- ④鑄造パターンに合うような鋼種を抽出し、鑄造順を作成する。その際、必要に応じて鋼種隣接制約把握の支援機能を使用し、より良い歩留りの鑄造順を決定する。

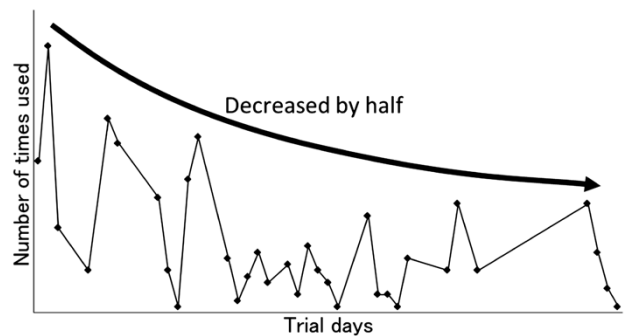


図6 鋼種隣接制約情報のガイダンスの使用回数推移  
Fig. 6 Decreased frequencies of using neighboring steel constraints display over time as proficiency acquired

本キャスト編成支援ツールを実業務で評価した結果、型組みの業務時間が約半分に短縮され、業務効率化に貢献したことを確認した。また、鋼種隣接制約情報のガイダンスの使用回数を基に、新人担当者の知識補完による技能向上効果を確認した。その結果、新人が本機能を使い始めてから数十日で約半減し、技能向上効果が確認できた（図6）。このように、ツールの利用実績を技能習得度合いの評価に活用することも一つの効果であると考えられる。さらに、実業務での試用評価段階で、生産変動を踏まえた型組み変更業務においても、より良い歩留の編成パターンを想起させる支援効果を確認した。

むすび＝キャスト編成問題に対し、これまで最適化技術により解決が試みられてきたが、「意思決定支援」という従来と異なる新たなアプローチでシステムを開発し、実評価を行った。その結果、実業務で歩留り向上の有効性を確認した。また、熟練担当者のノウハウを体系的な知識として活用できるようになり、新人担当者の技能向上の支援にもつながった。

「意思決定支援」アプローチは、本稿におけるキャスト編成だけでなく、他の製造ラインの投入順を決定するスケジュール問題で適用可能と考える。とくに、スケジュールの制約条件が複雑で、各々の制約の重要度は状況によって変化するような場合、体系的で固定的なルール化・問題定式化は困難である。むしろ、過去の類似事例を現在状況に適用可能な形で表示することで、担当者の知識補完や担当者による解探索を支援するのは有効である。

今後も実績データを活用した操業支援ツールの開発、適用拡大を図っていく。

#### 参考文献

- 1) 高橋哲也ほか. R&D神戸製鋼技報. 1990, Vol.40, No.3, p.29-30.
- 2) 藤井 聡ほか. 鉄と鋼. 2003, Vol.89, p.1220-1226.
- 3) 伊藤邦春ほか. CAMP-ISIJ. 2007, Vol.20, p.299.
- 4) 伊藤邦春ほか. CAMP-ISIJ. 2008, Vol.21, p.1145.
- 5) 福田啓一ほか. SI-SICE. 2013, p.0513-0516.
- 6) 神島敏弘. 人工知能学会誌. 2003, Vol.18, No.1, p.59-65.