発見的逐次改良による最小費用流探索手法と 製鋼工場操業計画への応用[†]

高橋 哲也*・小西 正 躬*
花岡 宏 卓**・中川 浩 之**

Scheduling for Steelmaking Process Based on Minimal Cost Search Using Heuristic Modification Approach

Tetsuya TAKAHASHI*, Masami KONISHI*,
Hirotaka HANAOKA** and Hiroyuki NAKAGAWA**

A scheduling method has been developed for steelmaking process, in which the problem is formulated in the minimum cost flow problem and the solution is decided using the sequential search approach. Sequential search algorithm is one of the well-known optimization method, but it often results in local optimization. Above all, for an integer problem as scheduling, which has a complex discrete structure, a sequential search approach is not available in many cases. To cope with this difficulty such methods as simulated-annealing and genetic algorithm are recently attempted, but the processing time should be much shorter for some actual application.

On the other hand, in the development of the actual application systems, it is often effective to utilize heuristics and to find a feasible semi-optimal solution. In this paper, a new method is proposed which contains heuristic rules in the process of sequential search. Many heuristic neighborhoods are defined in the form of flow modification patterns, and are selected to modify the network flow using heuristics of finding a good solution in the proper scheduling problem. The developed method was applied to the scheduling system in a steel plant, and the effectiveness of this approach was revealed in the actual application.

Key Words: scheduling, steel-making, sequential search, minimum cost flow problem, heuristics

1. ま え が き

製造業における生産現場では、多品種少量生産や製品品質高級化の傾向を背景として、工場内での物流が非常に複雑になっている。このため、操業者が行う計画作成作業の負荷が大きく、計算機による計画作成支援のニーズが強い。このような実操業のシステムでは、短時間に適正な計画作成することが要求されるが、現在のところ

ろ一般に有効な手法は確立されていない。そこで本論文では、最適化アルゴリズムの中に操業計画のヒューリスティックを組み込むことにより実用的に計画作成する手法を考案し、実際に製鋼工程の操業計画システムに適用したので、その内容について述べる^{1),2)}。

実際の製造業における操業計画システムにおいては、たとえばコスト最小化やリードタイム短縮などといった、計画に対する最適性が多くの場合に要求される。しかし、最適化計算は膨大な計算時間を要するため、実用的な時間で解を求めることは困難である。そのため従来の実用システムでは、ヒューリスティックを利用して解を求める方法や、シミュレーションなどを用いて操業者との対話で計画を作成することが多く、エキスパート・システムの応用例などがいくつか報告されている^{3)~6)}。

[†] 第 28 回自動制御連合講演会で発表(1985・11)

* (株)神戸製鋼所電子技術研究所 神戸市西区高塚台 1-5-5

** (株)神戸製鋼所神戸製鉄所 神戸市灘区灘浜東町 2

* Electronics Research Lab., Kobe Steel, Kobe

** Kobe Works, Kobe Steel, Kobe

(Received May 27, 1992)

(Revised November 10, 1992)

しかし、ヒューリスティックスのみに基づく方法では、解の最適性に対する保証はなく、実用的な計算時間とひきかえに最適解の追求をあきらめているのが現状といえる。そこで本研究では、数理計画における最適化のアルゴリズムにヒューリスティックスを融合することにより両者の問題点を補完し、最適化を指向すると同時に短時間で解を求める手法の開発を目的とした。

最近、同様に操業計画の問題に対して AI 手法と数理計画手法を組み合わせる試みがほかにも見受けられる。たとえば、ヒューリスティックスを分枝限定法の効率化に用いる試み⁷⁾、問題を大局的判断と局所的探索に分割してヒューリスティックスと最適化手法を使い分ける試み⁸⁾、段階的な制約充足の過程でヒューリスティックスと最適化手法を併用する試み⁹⁾などが報告されている。しかし、それらのすべては計画を組み合わせ最適化問題として捉え、解を絞り込む過程に重点が置かれている。ところが実際の操業計画の専門家は、かならずしも計画作成を組み合わせ最適化問題として捉えているとは限らない。むしろ、計画全体を俯瞰的に眺めながら、暫定解への試行錯誤による修正を繰り返す場合が多い。つまり、そのような専門家は逐次改良のノウハウを保有しているといえる。そこで、本論文では従来報告されている方法と異なり、逐次改良による解探索の過程にヒューリスティックスを導入する手法を試みた。ここで開発した手法では対象となる製鉄所の操業計画の問題を最小費用流問題で定式化することにより、より直接的に最適化の問題として扱うアプローチを行った。また短時間で適正な解を求めるために、解の探索を逐次改良型のロジックで行い、探索の過程に計画作成ノウハウを組み込む手法を

考案した。これにより、実際のシステムへの適用においても実用的な手法とすることができたので、その内容を以下に述べる。

2. 対象プロセス

Fig. 1 に、計画の対象である溶銑処理工程のレイアウトを示す。この工程は、高炉で生産された溶銑が台車で運ばれて製鋼工場に到着してから転炉で精錬されるまでに、脱硫や脱燐などの溶銑処理を行う工程である。溶銑処理のための設備としては溶銑処理炉と取鍋脱硫設備があり、設備間の搬送は 2 機のクレーンが行う。一つの溶銑鍋にはいった溶銑をチャージと呼び、処理や搬送はチャージ単位で行われる。

クレーン A は到着した溶銑鍋を溶銑処理設備に搬送する目的で使用され、クレーン B は溶銑を転炉に搬送する。溶銑処理炉に溶銑を入れたあとの空鍋は、そのままクレーン A でもとの台車に戻される。転炉に溶銑を運んだあとの空鍋は、同様にクレーン B で戻される。クレーン A、B は同じ軌道上にあり、両クレーンの位置関係は逆転させることができないため、クレーンによる搬送処理は互いに干渉しあう。また、溶銑処理炉での作業とクレーン作業の干渉なども存在し、種々の操業上の制約がある。

この工程内での各チャージの処理ルートには、Fig. 2 で示すようなものがある。図のいちばん上のルートは溶銑処理炉で脱燐・脱硫の両方もしくは片方だけが施されるルート、つぎが取鍋脱硫されるルートであり、いちばん下は何も処理されずに転炉へ直送されるルートである。各チャージの鋼種(製品の種別)によって望ましい処

Fig. 1 Hot metal process

Fig. 2 Processing route

理ルートは決まっているが、望ましいルートを通らなければ生産コストが高くなる。

各チャージが工場に到着する時刻は予定として与えられており、また生産計画より転炉での溶銑要求時刻も与えられる。途中工程の溶銑処理時間などは、鋼種に応じて定まっている。

以上より、この対象に対する計画の問題は、各チャージの処理ルート決定と、処理や搬送の時刻決定を行う問題として扱われる。計画作成の際にも考慮すべき点には、以下のようなものがある。

- 各チャージに対する処理は、対応する溶銑鍋が到着してから、転炉での要求時刻までの間に行わなければならない。
- 溶銑処理の能力やクレーン作業の干渉などによる、制約条件を満足しなければならない。
- 製造コストなどの評価関数が、最良となる計画が望ましい。

3. 最小費用流問題による問題の定式化

3.1 ネットワーク流による溶銑物流の表現

この問題を、ネットワーク計画における最小費用流問題としてモデル化した。

まず、この工程内での各溶銑の物流は、Fig. 3 に示すようなネットワークで表現できる。このネットワーク上で、横方向の流れは時間経過を表わし、縦方向の動きは工程の進行を表わす。このネットワーク中には、 $l=1\sim 12$ で示してある 12 種類の有向枝が存在し、それらは溶銑処理の工程進捗状況に対応する。たとえば、 l が 1 から 5 までの真横に向かう枝は溶銑が何も処理されずに工程内に滞留していることに対応し、そのほかの右下への枝は所定の所要時間 $T_6\sim T_{12}$ によって処理や搬送がされている状態に対応する。各枝は、計画作成の精度の時間刻みで

Fig. 3 Network model

Fig. 4 Network flow representation

設けられており、この精度内での各溶銑の挙動は、すべてこのネットワーク上での流れとして表現できる。

Fig. 4 には、1 チャージ分の溶銑の動きをネットワーク流で表わした例が示してある。この流れを実際の操業に対応させると、時刻 t_1 に工場に到着した溶銑が、時刻 t_2 に溶銑処理炉に搬送され、脱硫処理されたのちに時刻 t_6 に転炉に到着し、要求時刻 t_8 に間にあることを意味する。したがって、各チャージに対してこのような流れを設定することにより、この問題に対する解として、各溶銑の処理ルートとタイム・スケジュールが同時に決定できることになる。

3.2 コストの定義

ネットワークの各枝には、その枝に対応する処理のコストを定義し、枝を通る流れに対してコストを課すことができる。たとえば、 $l=1\sim 5$ の枝のコストは、各工程で単位時間あたりの溶銑滞留によって発生する熱損失などに対応する。また、 $l=6\sim 12$ のコストは、各溶銑がそれ

らの工程を通過した際の処理コストに対応する。これを定式化すると以下になる。

ネットワークの各枝に流れが存在するかどうかを表わす変数を $X(k, l, n)$ とする。これは、チャージ n に対応する流れが、時刻 k の枝 l に存在する場合には 1, 存在しなければ 0 となる変数とする。これに対し、チャージ n に対する枝 l のコストを $C_0(l, n)$ とすると、処理コストの総和はつぎの J_0 になる。

$$J_0 = \sum_n \sum_l \sum_k C_0(l, n) \cdot X(k, l, n) \quad (1)$$

さらに、チャージどうしの処理の干渉などによって生じる制約条件も、コストで定義した。この問題における操業制約のほとんどは、「ある枝に流れが存在する場合には、特定範囲内の枝をほかのチャージの流れが通つてはいけない」という形で表現できる。Fig. 5 には、そのような制約条件の例を示しており、太線矢印の枝に流れが存在すると、斜線の範囲の枝を流れるほかのチャージに対して大きなペナルティ・コストを課すことを意味している。たとえば Fig. 5(a) は、同一時刻に複数のチャージが溶銑処理設備を共有できない制約を表わす。また (b) は、溶銑処理炉で処理を行う際に、搬送設備との干渉により、ある範囲の時間はほかの溶銑を転炉に搬送できないことを表わしている。ここでは、斜線範囲の内側に入るほど、コストが急激に増加するように設定されている。

(a) Occupation of machine

(b) Interaction between operations

Fig. 5 Examples of restriction

この問題では、(a) のような溶銑処理炉・取鍋脱硫設備・クレーンなどの設備占有に関する制約と、(b) のようなクレーン間の差し合い・クレーン動作と他作業との干渉に関する制約などを Fig. 5 のようなペナルティ・コストのパターンで約 40 個定義した。また、それらの制約すべてに対して、ここでは Fig. 6 に示すようなペナルティコストを設定した。図中の $K_1 \sim K_2$ はペナルティを課すべき相対時刻の範囲を表わし、縦軸はその時刻の枝に発生するコストである。つまり、Fig. 5 で示した斜線の内側に入るほど大きな操業上の支障となるので、急激に（ここでは 2 次のオーダで）コストが増加するようにしてある。図中の G には、通常のコスト $C_0(l, n)$ と比較して十分に大きな値を設定した。

このようなパターンの定義により、時刻 k の枝 l にチャージ n の流れが存在した場合に、ほかのチャージ n' に対する時刻 $k + \Delta k$ の枝 l' におけるペナルティ・コスト $C_1(\Delta k, l, l', n, n')$ が設定できる。したがって、ペナルティ・コストの総和は以下の J_1 になる。

$$J_1 = \sum_{(k, l, n)} \sum_{(k', l', n')} \{C_1(k' - k, l, l', n, n') \times X(k, l, n) \cdot X(k', l', n')\} \quad (2)$$

以上のように、本問題は $J_0 + J_1$ を最小にするように、各チャージの操業に対応するネットワーク流を決定することに帰着する。したがって、処理ルート選択や処理時刻決定、および干渉などの制約回避といった、問題に含まれる要因のすべてを、最小費用流問題として統一的に定式化できたといえる。しかし、この定式化では、時刻 k の刻みを 1 分の精度としても、8 時間・約 16 チャージ分の計画を考えると、9 万個以上の 0-1 変数からなる整数計画問題となり、列挙的な方法で最適解をもとめることは困難である。そこで、この定式化のもとで発見的な逐次改良を行い、短時間で有効な解を求める手法を開発したのでつぎに述べる。

Fig. 6 Penalty Costs

4. 発見的逐次改良による溶銑処理計画の作成

4.1 発見的近傍

逐次改良法は最適化アルゴリズムとしては一般的であるが、多峰性の問題を扱うと局所最適解しか得られないことはよく知られている。とくに、スケジューリングに代表されるような整数計画問題では、問題自体が複雑な離散構造で多くの局所解が存在するため、満足の結果が得られる例はまれである。最近ではその問題を回避するために、シミュレーテッド・アニーリング法や遺伝的アルゴリズムなどの手法を用いる試みがあるが^{10)~12)}、対話型システムへの適用などの即応性を要求される場合には、さらに計算時間の短縮が必要である。そこで、操業にとって不適切な局所解を避けて適正な解を短時間で求めるために、逐次改良の過程にヒューリスティックスを導入することを考察する。

整数計画問題に対して逐次改良型アルゴリズムを適用することが困難な理由の一つに、解空間での距離の定義が不明確であることがある。連続系のように空間がなめらかな場合には、近傍を探索しながら解を改良する方法がよく用いられるが、整数問題では近傍も一般的に定義しにくい。むしろ、スケジューリングなどの整数計画問

題における近傍は、問題固有のヒューリスティックスによって定義すべきものである。

そこで、さきに定式化したネットワーク流における近傍を定義することを考える。たとえば Fig. 7(a)の流れを(c)に修正するには、(a)に対して枝の逆流を含むループ状の流れ(b)を加えればよい。これにより、ループの負の流れの部分に起因していたコストは解消し、新たに加わる正の流れに関わるコストが発生することになる。つまり、近傍の定義はこのような流れのループのパターンとして定義することで可能である。Fig. 8には、その例が示されている。(a)は、溶銑処理炉での処理時刻を変える近傍の定義である。また(b)は、溶銑処理炉での脱燐・脱硫ルートを通るチャージを、脱硫処理のみのルートに変更する近傍である。ここで定義したようなパターンは、数学的に厳密な意味での「近傍」とはいえないが、概念的には近傍に類したものという意味で、あえて発見的近傍と呼んでいる。溶銑処理計画の問題に対しては、(a)のような処理時刻変更に関するパターンを約 50 通り用意した。また、(b)のような処理ルートの変更パターンはルートの組合せ、およびルート変更後の処理タイミングが異なるものを約 30 通り用意した。したがって本問題では合せて近傍を約 80 パターン用意した。

4.2 ヒューリスティックスを用いた探索

解の探索は Fig. 9 のように、ネットワーク流修正パターンの中から選択し、解を修正していくことによって行われる。ここで、選択すべき近傍を決定するためのヒューリスティックスを与えるために、定義されている近傍パターンはグループ分けし、それぞれのグループに

(c) Flow after modification
Fig. 7 Network flow modification

(a) Alternation of process time

(b) Alternation of process route
Fig. 8 Examples of neighborhood

Fig. 9 Scheduling procedure

(a) Initial solution

(b) Intermediate state of solution

Fig. 10 Process of search

プライオリティを付けた。また、修正パターンが選ばれるための必要条件として、修正により改善されるコストの最低限界をあたえるものとした。つまり、修正パターンの定義は

(グループID：プライオリティ

発火条件：コスト改善 $\geq$ 最低限界

修正パターン群：

{パターン1, パターン2, ...}

といった形でグループ化され、まずプライオリティ最高のグループから近傍が探索される。条件を満たす近傍がなかった場合にのみ、より低プライオリティの近傍が探索され、条件を満たす修正パターンが見つからなければ探索を打ち切り、そのときの解を最終的な解とする。この方式によって与えられるヒューリスティックスは非常に簡単なものであり、今後より複雑なルールを記述できるようにする必要があると考えられる。しかし、今回対象とした問題における、たとえば以下のa, bのような操業計画のノウハウを組み込むには十分であった。

a. 「なるべく処理ルートは変更せず、

時刻変更のみで制約を回避したい」

b. 「溶銑処理が必要な鋼種は、なるべく

転炉へ直送するルートへは変更しない」

aを実現するには、大きなコスト改善最低限界を設定した修理時刻修正の近傍群からなるグループを高プライオリティにしておき、時刻変更で大きな改善が得られる場合はほかのパターンが選ばれないようにすればよい。またbは、転炉直送ルートへ変更する近傍を低プライオリティにしておくことで実現できる。今回の問題では7個のプライオリティをもつグループを定義した。以下にそれらのグループについて簡単に述べ、溶銑処理計画の問題に組み込まれた計画ノウハウの概要を示す。

[プライオリティ1のグループ]

通常の鋼種において望ましいルート変更からなるグ

ループ。たとえば「何も処理しないルートから何らかの溶銑処理をするルートへの変更」や「脱硫処理のみのルートから脱磷処理を行うルートへの変更」や「脱硫処理のみのルートから脱磷処理も行うルートへの変更」といった修正パターンが、このグループに含まれる。

[プライオリティ2, 3, 4のグループ]

処理や搬送の時刻を変更する修正パターンからなるグループ。解が制約条件を満たさない場合には、処理ルートを変更するよりも、まず時刻をずらすことにより対処を試みるために高いプライオリティに位置している。これらの3個のグループ内では、たとえば溶銑処理炉などの操業ネックとなる処理の時刻修正パターンが高いプライオリティに置かれている。

[プライオリティ5, 6のグループ]

プライオリティ1とは逆に処理を取りやめるルート変更からなるグループ。プライオリティ2~4のグループから適当な修正パターンが見つからなかった場合には、処理ルートの変更により制約を満足させることが試みられる。二つのグループ内では、操業上あまり望ましくない

Fig. 11 Scheduling result

ルート変更は低プライオリティのグループに置かれる。
[プライオリティ 7 のグループ]

処理・搬送時刻の微調整を行うグループ。これにより、途中工程の滞留時間にかかわるコストを減少させる。

実際に Fig. 10 には、ヒューリスティックスを用いた探索で解が改良されていく過程の例が示されている。わかりやすくするために、ネットワーク流による表現ではなく、実際の作業に対応した表現で表わしてある。図の縦方向は対象プロセス内での工程であり、横方向は時刻である。図中の 1~10 の矢印は、10 チャージ分の溶銑の到着予定時刻と転炉での要求時刻である。また、その間の実線は各チャージが途中工程に存在する時刻範囲を示している。図中の PS や S は溶銑処理炉における脱燐・脱硫処理を表わし、ΔS は取鍋脱硫設備による脱硫を表わす。波線は、チャージが何も処理されずに工程に滞留している期間である。

Fig. 10(a) は初期状態であり、転炉での期限に間に合う処理ルートのうち、処理コスト最小のものを各チャージについて設定してある。(b) は逐次選択された修正パターンによって約 50 回の修正が行われたあとの状態であり、同一設備が同時に複数チャージに使用されるなど、チャージ間の干渉が解消できていないのがわかる。この探索の結果、約 65 回の修正後に Fig. 11 のような最終解がえられた。この図には、破線で 2 機のクレーンの動きも示しており、クレーンどうしの干渉などの、搬送設備の制約も満たされていることがわかる。

5. 評価と考察

ここで開発した手法は、実際の製鉄所のスケジューリング・システムに適用されている。前述したような発見

的近傍と探索のヒューリスティックスを組み込むことにより、最終的には約 8 時間分の 16 チャージに対する操業計画が約 20 秒で作成できるようになり、実用的な処理時間で解が得られている。

実際のシステムに適用するに先立ち、実操業と同等な条件で 25 通り約 300 チャージについてのケーススタディを行った結果、すべてのケースにおいて実行可能解が得られた。また、各チャージに対して決定されたルートのうち約 94% がそれぞれのチャージの最も低コストのルートが選択されており、十分に要求を満足する結果となっている。システム稼働後の実績においても、途中工程での滞留時間減少により溶銑温度降下が約 17°C 減少したと報告されており、この点でも操業コスト低減に寄与している。

また、今回採用した定式化の利点として、制約条件を満たす解が探索できなかった場合でも、操業上のアクションを判断するうえで十分な情報を操業者に提供できる点が挙げられる。たとえば、前に示した Fig. 10(b) のような制約条件を満たさない局所解で収束したとしても、「解なし」という結果しか得られないよりは、はるかに操業者にとって有益である。このため、システム稼働後の操業者の負荷が大幅に軽減され、操業上の判断を適正に行えるようになったという評価を受けている。

いっぽう今回の応用によって、本手法の課題も明確となった。たとえば、ここで定義した修正パターンの数は約 80 個であり、筆者らが当初予想した数よりもかなり多い。その原因は、局所解におちいる状況が多様であるため、それらの局所解を避けるための近傍が増えてしまったためである。これは、問題が複雑になると、定義すべき近傍の構造も複雑になることを意味する。いいかえれ

ば、問題固有の構造を分析・整理して、近傍の設定を系統的に行う手法が必要があるということであり、今後の研究課題である。しかし、そのような課題の存在を認めた上でも、本論文で示したように、解探索の過程にヒュリスティックスを組み込むためのモデル化と枠組み作りを行うことにより、操業ノウハウを採り入れた実用的ロジックを容易に実現できるということは、応用システムの構築にとってはきわめて有用なことといえる。

6. ま と め

逐次改良型の最適化ロジックに対して、その近傍定義や探索過程にヒュリスティックスを導入する手法を開発した。このように、数理計画的な最適化アルゴリズムとエキスパート・システム的なヒュリスティックスの融合により、両者の欠点である処理時間の膨大さと解の最適性欠如を補完し、スケジューリングのような整数問題においても適正な解を短時間で求めることのできる手法となった。また、ここで開発した手法は製鉄所の操業計画システムに適用され、その実用性をも確認することができた。今後、残された課題である、近傍定義を適切に行うための問題分析方法の検討や、より複雑なヒュリスティックスの導入を行うことにより、さらに手法の有効性を高めることが期待できる。

参 考 文 献

- 1) 高橋, 田村, 小西, 奥野: ネットワーク計画法による溶銑処理計画, 第28回自動制御連合講演会, 397/398 (1985)
- 2) T. Takahashi, et. al.: Scheduling for Steel Making Process Using Mathematical Programming Method, Proc. IFAC Symposium on Automation in Mining Mineral and Metal Processing, 129/134 (1989)
- 3) F. Farhodi: A Knowledge-Based Approach to Dynamic Job-Shop Scheduling, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 3-2, 84/95 (1990)
- 4) M. Numao and S. Morishita: Cooperative Scheduling and Its Application to Steelmaking Processes, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 38-2, 150/155 (1991)
- 5) 森下, 沼尾, 戸沢: 協調型スケジューリングによる製鋼工程スケジューリング・エキスパートシステム, 人工知能学会誌, 5-2, 184/193 (1991)
- 6) 鳩野, 山縣, 田村: ルールベースを用いたフレキシブル生産システムのオンライン・スケジューリング, システム制御情報学会誌, 4-9, 375/381 (1991)
- 7) 福村, 佐能, 山川: 鋼材出荷計画エキスパートシステムと分枝限定法, オペレーションズ・リサーチ, 33-1, 33/39 (1988)
- 8) 関根, 竹中, 本田, 江原, 新井, 美濃: 専門家モデルに基づく生産スケジューリング・システム, 人工知能学会誌, 5-2, 194/202 (1991)
- 9) 伊東, 石塚, 原田, S. L. Chung, 圓川: 制約階層型探索法

を用いた配船スケジューリングシステム, 人工知能学会誌, 6-1, 60/71 (1991)

- 10) 須貝, 平田: 組合せ最適化アルゴリズムとその応用, 計測と制御, 29-12, 18/25 (1990)
- 11) F. A. Ogbu, D. K. Smith: The Application of Simulated Annealing Algorithm to the Solution of the $n/m/C_{max}$ Flowshop Problem, Computers Opns Res., 17-3, 243/253 (1990)
- 12) 西川, 玉置: ジョブショップ・スケジューリング問題に対する遺伝アルゴリズムの一構成法, 計測自動制御学会論文集, 27-5, 593/599 (1991)

[著 者 紹 介]

高 橋 哲 也 (正会員)

1983年, 東京大学大学院計数工学修士課程修了。同年(株)神戸製鋼所に入社。浅田研究所, 電子技術研究所を経て, 現在, スタンフォード大学客員研究員。スケジューリング, 知的情報処理システムの研究に従事。システム制御情報学会, 情報処理学会などの会員。

小 西 正 躬 (正会員)

1969年, 京都大学大学院数理工学専攻修士課程修了。同年(株)神戸製鋼所に入社。中央研究所, 浅田研究所を経て, 現在, 電子技術研究所副所長(工学博士)。プロセス制御, 人工知能, 生産システム最適化の研究に従事。日本鉄鋼協会, 日本塑性加工学会, 人工知能学会などの会員。

花 岡 宏 卓

1982年, 大阪大学大学院冶金工学専攻修士課程修了。同年(株)神戸製鋼所に入社。神戸製鉄所製鋼部を経て, 87年より鉄粉製造部で現在に至る。製鋼プロセスにおける省エネルギー, 高効率操業技術の開発に従事。日本鉄鋼協会, 粉体粉末冶金協会などの会員。

中 川 浩 之

1985年, 神戸大学大学院システム工学科卒業。同年(株)神戸製鋼所に入社。神戸製鉄所技術部システム室にて製鉄所工程計画システムの開発に従事。日本鉄鋼協会の会員。