

遺伝的アルゴリズムによる製鋼チャージ編成システムの構築

川崎製鉄(株) *林 敏幸 HAYASHI Toshiyuki
01504720 川崎製鉄(株) 福村 聡 FUKUMURA Satoshi
川崎製鉄(株) 折田 朝之 ORITA Asayuki

1. はじめに

近年、最適化の対象となる問題は大規模化、複雑化しており、システム化の難しさが増してきている。また、その一方で計算機の劇的な高速化を背景に、探索に確率要素を加えた遺伝的アルゴリズム[1]などの手法が大規模な組み合わせ問題の解法として脚光を浴びている。鉄鋼業でも同じ動きが起っており、複雑な問題や大規模な問題への遺伝的アルゴリズムの適用事例[2][3]が多く見られるようになってきた。

今回、我々は上記と同じく複雑で従来人間に依存していた製鋼チャージ編成のシステム化を遺伝的アルゴリズムを利用することにより実現した。本論文はチャージ編成システム構築の概要を報告するものである。

以下、チャージ編成の概要、遺伝的アルゴリズムと数理計画法の有効性比較、遺伝的アルゴリズムによるチャージ編成の実現方法の概略、操業シミュレーションによるシステムの有効性の検証結果について報告する。

2. 製鋼チャージ編成の概要

製鋼チャージ編成に関連する工程とチャージ編成の概要を図1に示す。図に示すように、製鋼チャージ編成とは、圧延工程で圧延する様々な規格のスラブを製鋼チャージに割り付ける製鋼チャージと連続铸造単位を設計する作業である。製鋼チャージは製鋼工程で成分調整を行う一単位であり、スラブが20~30本程度割り付けられる。また、連続铸造は複数の製鋼チャージを連続して铸型に流し込んでスラブを製造する工程であり、最大で10チャージをつないで行われる。これらのチャージへのスラブの割り付け方によって製鋼

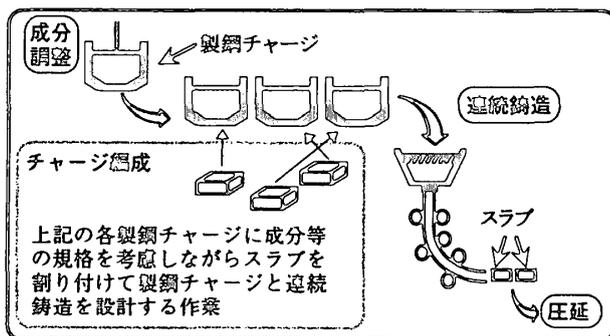


図1 チャージ編成に関連する工程とチャージ編成の概要

チャージの出鋼成分が決定されるし、また選択する連続铸造の铸込みサイズ(=スラブの断面サイズ)によって圧延歩止や能率が決定されるため、チャージ編成は鉄鋼製品の製造コスト決定において非常に重要な位置を占める。

上記のようにチャージ編成を適切に行うことはコスト削減上重要であるが、その一方でチャージ編成は複雑な組み合わせ問題であり、チャージ単位の成分集約や納期優先、連続铸造におけるチャージ間の成分変動範囲の制約など多様でトレードオフの関係にある評価指標や制約条件を考慮する必要がある。このため、チャージ編成のシステム化は容易ではなく、従来人間に依存した作業となっていた。

3. 適用アルゴリズムの検討

チャージ編成をシステム化するにあたって、中核となる組合せ最適化アルゴリズムとして、数理計画法と遺伝的アルゴリズムを比較検討した。数理計画法には市販のパッケージソフトを利用し、遺伝的アルゴリズムには独自で開発したプロトタイプを使用した。

それぞれ実データを使用した試行結果を図2に示す。いずれも評価指標は成分5種類の集約と铸込み量の最大化である。図に示すように、数理計画法では1チャージの成分集約でも計算時間が1時間程度かかっており、成分の集約度合いも担当者に

	数理計画法		遺伝的アルゴリズム	
対象規模	チャージ数 : 1 対象スラブ数 : 100		チャージ数 : 10 対象スラブ数 : 228	
求解時間	*Sparc10での実行 約1時間		約4時間 (1チャージ24分相当)	
担当者との結果比較				
	システム	担当者	システム	担当者
铸込率	100%	97.8%	98.8%	96.2%
成分1分散	1.62	0	3.1	2.0
成分2分散	1.31	0	1.4	0.4
成分3分散	2.24	0.25	1.0	1.1
成分4分散	6.17	0	1.7	3.3
成分5分散	157.1	0	46.5	114.0

※铸込率：最大铸込可能量に対する実铸込割合
※分散：鋼片の成分目標のチャージ内での分散。小さいほど良い

図2 適用アルゴリズム検討結果

比べて悪い。これについては、モデル化の問題もあるかもしれないが、成分のばらつきを評価するために1チャージ当りで対象スラブ数の二乗の半分(今回の例で5000個)の0/1変数が必要であり、問題が大規模になってしまうためである。

一方、遺伝的アルゴリズムの方は計算時間は4時間程度かかっているものの10チャージを編成できており、成分の集約度合いも担当者レベルを達成している。

これらの結果より、チャージ編成システムには遺伝的アルゴリズムを適用することとした。

4. 遺伝的アルゴリズムによるモデル化方法

個体の遺伝子構造と交叉方法を図3に示す。図のように個体はスラブの番号が入る遺伝子座を持つ単純な構造で、遺伝子座はチャージ単位に明確にグループ化されている。また、このように遺伝子構造をスラブの組み合わせである製鋼チャージとチャージの組み合わせである連続铸造の二重構造としているため、交叉も図に示すようにチャージ内交叉とチャージ間交叉の二種類を行っている。これらはそれぞれチャージ内、チャージ間に関する評価指標や制約充足度合いの向上を狙ったものである。

突然変異も同様に、鋼片単位、チャージ単位の突然変異を行っている。

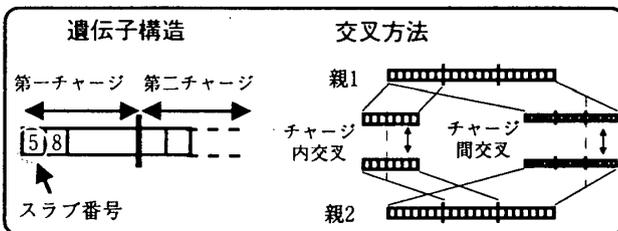


図3 遺伝子構造と交叉方法

選択淘汰は、評価指標別に適応度の最も高い個体から一定数を複製し、複製した分だけ総合的な適応度の低い個体を淘汰するというものである。これは、多目的最適化で個体の多様性を維持するための方策である。遺伝的アルゴリズムでの多目的最適化にはランク選択などの手法があるが、計算時間の制約により対象としなかった。

上記の遺伝的アルゴリズムの基本的なオペレーションの他に、意図的な遺伝子操作を施すような手続き処理も行っている。主なものには成分の集約がある。

5. チャージ編成システムの実行結果

実操業と同じオーダ構成で数日間のチャージ編成シミュレーションを行った。編成量は6つの連

表1 チャージ編成シミュレーション結果

	実操業	システム
総ロス	1.00	0.73
歩止	1.00	0.99
圧延能率	1.00	1.03
成分ロス	1.00	0.48

続铸造、40チャージであり、対象とする鋼種や铸込みサイズは連続铸造毎に異なる。

実操業すなわち人間によるチャージ編成と遺伝的アルゴリズムを適用したシステムによるチャージ編成の結果の比較を表1に示す。表で総ロスは歩止と成分で発生する損失や過剰コストを金額評価した合計を表し、歩止と圧延能率はそれぞれの値そのものを、また成分ロスは成分調整の過剰コストを金額評価した値である。ただし、全て実操業を1とし、値が小さいほど良好とする。

表に示すように、遺伝的アルゴリズムの結果の方が高歩止、低成分ロスであり、トータルで27%のコストロスを削減できている。また、この時の実行時間はトータルで約120分であり、当初目標とした1編成当り20分以内に収めることができた。このように、遺伝的アルゴリズムを適用することで実適用可能なシステム化を実現した。

6. まとめ

遺伝的アルゴリズムを適用したチャージ編成システムについて報告した。チャージ編成は評価指標の数が多い複雑な組み合わせ問題であり従来は人間に依存した作業となっていたが、遺伝的アルゴリズムの適用により実用的なシステムを構築することができた。

本システムは現在製鉄所のチャージ編成で実際に利用されている。効果の詳細は現在評価中であるが、稼動前後の比較で鋼種によっては成分調整の余剰コストを20%程度削減できており、システムは有効に機能しているものと考ええる。

ただし、本文では述べていないが、評価指標間の評価バランスのチューニングや、成分規制の厳しいスラブを編成しにくいといった問題も課題として残っており、今後の評価活動を通して解決策を考えていきたい。

参考文献

[1] 玉置久: 遺伝的アルゴリズムによる組合せ最適化とその動向、計測と制御、Vol.34、No.5、pp347-352、1995

[2] 平山克己他: ハイブリッド遺伝アルゴリズムを応用した厚板スラブ設計問題のモデル化、問題発見とモデル化シンポジウム論文集、1996、pp47-54

[3] 織田実他: 原料ヤード運用計画システムの開発、CAMP-ISIJ、Vol.7(1994)、pp1258