

ハミルトン閉路の近傍操作に基づく遺伝的アルゴリズムと

3K-4

鉄道車両運用計画問題への適用\*

佐藤 達広 佐々木 敏郎†

(株)日立製作所 システム開発研究所‡

1 はじめに

近年、鉄道分野においては、輸送量の拡大や多様な顧客ニーズに対応するために、鉄道各社が路線の拡大、列車ダイヤの高密度化、列車種別の細分化等を積極的に押し進めている。それに伴い、車両の保守・整備をおこなう各路線の車両基地において車両の運用管理業務が複雑化しており、従来完全に手作業であった各種の業務計画の作成を計算機システム化したいという要求が高まっている。このような背景の下、鉄道車両基地における業務計画の1つである車両運用計画の作成を対象として、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, 以下 GA) を応用した柔軟で効率的なスケジューリング方式を開発した。本稿では、その概要と実際規模のデータを用いた実験結果について述べる。

2 車両運用計画作成問題

2.1 問題の説明

図 1 に、鉄道路線の運行ダイヤの例を示す。各ダイヤ

	6:00	7:00	8:00	-----	23:00	24:00
1	基地X	→	基地Y			
2	駅A	→	基地Y		→	基地Y
3	基地Y	→	基地X			
4		→	駅B		→	基地X
5	基地X	→	基地X		→	駅A
6	基地Y	→	駅B			

図 1: 運行ダイヤ

の黒い棒線は本線上での営業運転を意味し、その左右に付けられたラベルは出発または到着の車両基地もしくは駅を表す。各ダイヤに編成が個別に割当てられて毎日営業運転がおこなわれる。各編成の担当ダイヤは、編成の使用状況や作業予定といった様々な要因に基づき毎日異なるものになる。場合によってはダイヤが割当てられず、予備編成として車両基地に終日在线上することもある。

本研究が対象とする車両運用計画問題とは、運行ダイヤと1日に必要な予備の数及び各基地への配分を入力として、図 2 に示すような全てのダイヤと予備を含んだ巡回系列、即ち運用ローテーションパターンを作成する問題である。

これは、1編成に対するダイヤ、予備のサイクリックな割当て順序を表し、車両運用管理のための基本計画と

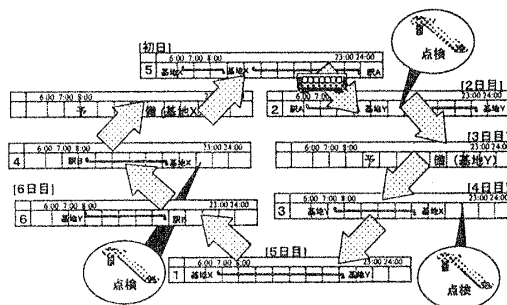


図 2: 運用ローテーションパターン

して編成の配車計画の作成等に用いられる。計画作成の制約条件としては、巡回系列において隣合うダイヤ(予備)の発着場所(在线上場所)の繋がりが正しく、編成を巡回系列に沿って運用することが物理的に可能であることが挙げられる。

さらにこれに加えて、例えば (1) 点検作業の割当間隔が法定復帰日数以内、(2) 点検作業の総本数が少ない、(3) 点検作業の実施間隔が均等、といった様々な評価指標をバランスを巧みにとりつつ充足することが求められる。

2.2 定式化

運行ダイヤと予備をまとめてグラフ理論におけるノードと考える。ノード数を  $N$  として、全てのノードの集合を  $V \equiv \{v_i\}_{1 \leq i \leq N}$  と表す。集合  $V$  中の任意の異なる2つのノード  $v_i, v_j (i \neq j)$  に対して、 $v_i$  から  $v_j$  へ接続可能、すなわち  $v_i$  の到着場所と  $v_j$  の出発場所が等しい場合に、 $v_i$  から  $v_j$  の向きの有向辺を与える(予備については在线上場所を発着場所と考える)。この処理を頂点集合  $V$  の全ての要素の組合せに施して得られる有向辺の集合を  $E \equiv \{e_i\}_{1 \leq i \leq M}$  とし、 $E$  と  $V$  から構成されるグラフを以下では接続制約グラフと呼ぶ。

**定義 1 (車両運用計画作成問題)** 接続制約グラフ  $G \equiv (V, E)$  が与えられたとき、ノード集合  $V$  のすべての要素をちょうど1回ずつ経由する巡回閉路(ハミルトン閉路)で、与えられた評価指標群を最も良く満足するものを求める問題

最もポピュラーで古典的な巡回閉路探索問題としては、巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem, TSP) を挙げることができる。車両運用計画作成問題は、(1) 最適化すべき評価指標が複数存在する、(2) 有向グラフのみを閉路探索の対象とする、という特徴を持つ。

3 提案手法概要

本稿で提案する車両運用計画作成問題の解法は、GA を解探索の枠組みとして用いる。以下では、染色体表現、適応度の算出、遺伝子操作の概要を述べる。

\*Genetic Algorithm based on Neighborhood Operation of Hamilton Cycle and It's Application to Train Scheduling Problems

†Tatsuhiko SATOU and Toshirou SASAKI

‡Systems Development Laboratory, HITACHI, Ltd.

### 3.1 染色体表現

接続制約グラフ  $C \equiv (V, E)$  上のハミルトン閉路それぞれを染色体表現とする。ただし、ローテーション中の先頭要素を識別する必要から、全てのノードと双方向に接続可能なダミーノード  $v_0$  とその接続を表す辺を接続制約グラフに含める。図3に、先に挙げた仮想路線に対

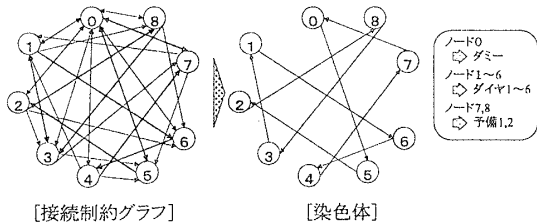


図3: 接続制約グラフと染色体表現

する接続制約グラフと染色体の一例を示す。

### 3.2 適応度算出

染色体から得た情報を元にダイヤと予備を並べ、さらに点検作業の割当てをおこなって解表現を生成した上で、それに対して適応度関数を適用する。適応度関数は、各評価指標の充足度合いに応じたペナルティを出力値とする部分適応度関数の線形加重和として構成する。

### 3.3 遺伝子操作

遺伝子操作のうち、自然淘汰は、通常のGAと同様に染色体集団から適応度の低いものを規定個数削除する。

[交叉] 本提案手法の交叉は、巡回グラフの  $\lambda$ -Opt 近傍 [1] の概念に基づく。  $\lambda$ -Opt 近傍とは、巡回グラフ  $x$  から  $\lambda$  本以下の辺を削除し、同じ本数の他の辺を加えて得られるグラフのうち、部分閉路を含まない巡回グラフの集合を指す。

本提案手法では、特に  $\lambda = 3$  である場合の 3-Opt 近傍を利用する。ルーレット選択で得られた2つの親染色体のどちらか一方(親  $X$  とする)から 3-Opt 近傍を生成し、その中で新たに加えた辺の本数がちょうど3本で、それらが全て接続制約グラフ上に存在するものを1つ任意に選んで子染色体とする。

他方の親染色体(親  $Y$  とする)の役割は、近傍生成時に削除する辺の選択を制御することである。すなわち、親  $X$  と親  $Y$  の相違に着目し、親  $X$  から除く辺の1本を、親  $Y$  に含まれない辺(非共通辺)のいずれかとする。

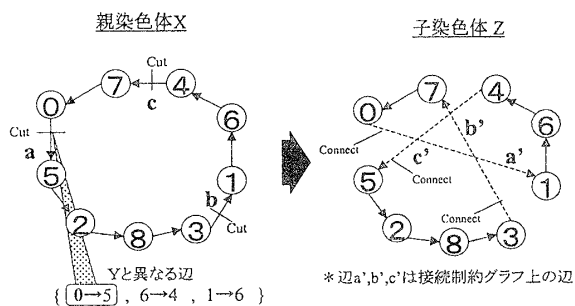


図4: 交叉

図4に交叉処理の例を示す。この交叉により得られる子染色体は、常に接続制約グラフ上の有効なハミルトン

閉路であり、致死遺伝子が生じることはない。また、2つの染色体の非共通辺の総数を両者の相対距離と定義すると、生成される子染色体の可能な組合せの数が、相対距離の大きさに比例して変動する特徴を持つ。

[突然変異] 探索の各世代において、染色体集団に重複要素が存在する場合に、その任意の2つの頂点の位置を、接続制約グラフを満たす限りにおいて交換する。交叉と同様にこの操作により致死遺伝子が生じることはない。

提案手法の交叉は、親染色体を部分的に変更して親に似た染色体を生成する処理であるため、世代交代が進むにつれて染色体集団の相対距離平均を次第に減少させることができる。それに伴い子染色体の可能な組合せの数も減少するため、探索範囲を広域から局所へと滑らかに移行することで解を効率良く探索できる。また、探索が局所化しすぎると重複解が多発して探索性能が逆に低下するが、重複解の発生頻度に応じて実行割合が変化する突然変異を備えることにより、集団の多様性を適切に維持することができる。

## 4 実験

提案手法を組みこんだプロトタイプシステムを開発し、それを用いて実験をおこなった。実験対象は、編成数60、ダイヤ本数55、車両基地数2の鉄道路線である。探索パラメータは、世代数1000、個体数30、自然淘汰率30%とした。この条件下で100回の試行をおこなったところ、図5に実験結果を示すように、全ての試行において約2分の実行時間でほぼ同レベルの高品質の解に安定的に到達することができた。

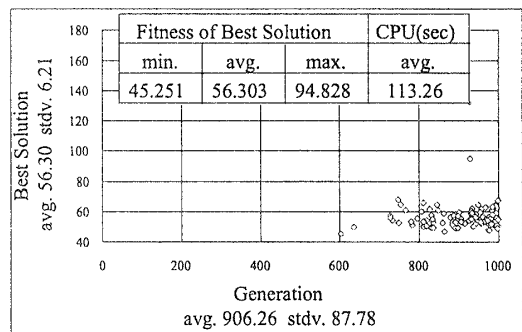


図5: 実験結果

## 5 おわりに

鉄道分野における車両運用計画問題を、有向グラフ上の多目的なハミルトン閉路探索問題として定式化し、遺伝的アルゴリズムを応用した計画作成方式を提案した。実際の鉄道路線を想定したシミュレーション実験の結果、車両運用管理の実務に耐えうる高品質の車両運用計画を、高速かつ安定的に作成できることを確認した。

今後は、提案手法の探索挙動の解析とその理論的枠組の整備を進める。

## 参考文献

[1] 茨木: 離散最適化法とアルゴリズム, 岩波講座応用数学 [方法 8], 岩波書店, pp.83-99 (1993)