

GA と PERT を組み合わせた電車区構内作業計画作成アルゴリズム

3K-5

富井規雄, 周利剣

(財) 鉄道総合技術研究所

1 はじめに

電車区構内作業計画（以下、構内作業計画）とは、鉄道の車両基地における、電車の検査、清掃等の作業の計画、それらの作業を実施するために電車を作業可能な番線に移動する作業（入換）の計画、および、作業に対する要員の割当て計画のことを言う。構内作業計画は、列車ダイヤをもとに日々作成される。これは、後述するように多数の制約を考慮しなければならない複雑な作業であるため、現在は長年の経験をつんだベテランの作成者によって長い時間と労力をかけて作成されている。この状況を改善するためには、電車区固有の条件にとらわれない、汎用的な自動作成アルゴリズムが望まれる。

構内作業計画は、ある種の有限資源プロジェクトスケジューリング問題と見なすことができる。筆者らはこれまで、同様に、ある種の有限資源プロジェクトスケジューリング問題である、駅における車両の入換計画に対して、確率的局所探索と PERT を組み合わせた自動作成アルゴリズムの研究を行ってきた[1]。しかし、駅の場合は、列車ダイヤを満足する入換計画を作成することが目的であったのに対し、電車区の場合には、必要な作業を最も効率的に実施できるように作業の実行時刻とそれに対する要員割当て計画を決定することが目的となる。また、制約、評価基準ともに駅より複雑である。

筆者らは、GA を用いて構内作業計画作成アルゴリズムを構築することを考える。構内作業計画では作業の実行時刻までを決定しなければならないため、構内作業計画そのものの集合を GA の探索空間とすると、探索空間が莫大なものとなる。そこで、本稿では、実行時刻を陽に考えない構内作業計画の集合を GA の探索空間とし、そこで得られた探索結果に対して、PERT を用いて各々の作業実行時刻を決定する、という2段階の探索手法をとる。

2 電車区構内作業計画とは

図1の配線を持つ電車区に対する構内作業計画の例を図2に示す。図2は、作業ダイヤと呼ばれ、横軸方向に

時間の経過、縦軸方向に番線と要員を取って、必要な作業を行なうための電車の入換と作業に対する要員割当てを示している。作業としては、検査、清掃、修理、分割、併合、入換等があり、それぞれに対して、担当可能な要員が決まっている。

構内作業計画への入力は、編成ごとの着・発列車番号、電車区への着・発時刻、実施すべき作業である。制約としては、配線の条件、作業ごとに担当可能な要員の数・勤務時間、配線（進路の有無、番線の長さ）、作業実施可能な場所（番線）、番線間の移動時間、作業に必要な時間等がある。構内作業計画は、これらの制約をすべて満足する必要がある。

構内作業計画の評価基準としては、次を設定する。

- ・要員の移動時間がなるべく少ないこと。
- ・要員の待ち時間がなるべく少ないこと。

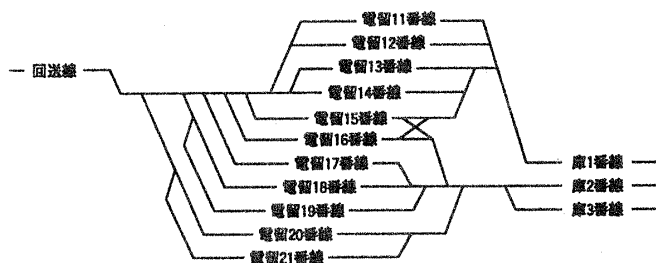


図1：配線図の例

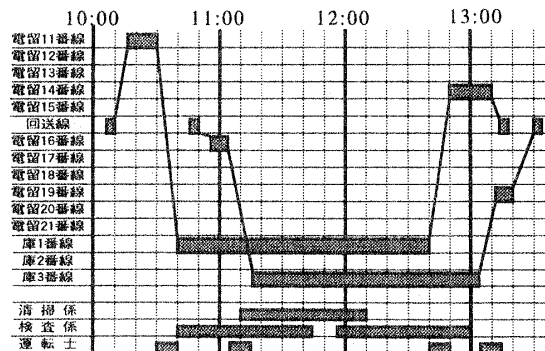


図2：構内作業ダイヤの例

3 GA と PERT を組み合わせた電車区構内作業計画作成システム

3.1 アルゴリズムの概要

対象時間幅の構内作業計画全体の集合を 1 つの個体とする。その個体のある個数集めたものを、集団とする。染色体は、拡張入換計画ネットワーク（後述）で表現する。交差、突然変異は、拡張入換ネットワークに対する操作として定義される。また、拡張入換ネットワークで表現された構内作業計画に対して、各作業の実行時刻を計算することによって、各個体の評価を行なう。選択は、各個体に対する評価値（全要員の移動時間と手待ち時間の総和）を用いた、ルーレット選択による。アルゴリズムの全体構成を図 3 に示す。

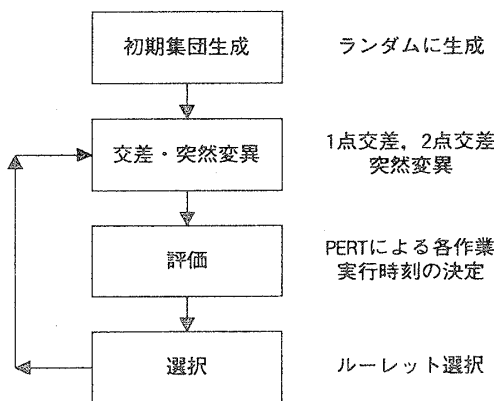


図 3：アルゴリズムの全体構成

3.2 GA による資源割り当て決定問題

3.2.1 拡張入換計画ネットワークによる染色体表現

拡張入換計画ネットワーク G は、 (N, E) で定義される。ここで、 N は、ノードの集合、 E は、アークの集合で、 $E \in N \times N$ である。 E には、重み $w \geq 0$ が付されている。さらに、 $N = N_1 \cup N_2$ ($N_1 \cap N_2 = \emptyset$) である。この意味は、次の通りである。 N_1 は、車両の移動作業に関する事象（番線への着事象と発事象）に対応するノードの集合である。 N_2 は、作業に関する事象（作業の開始・終了、要員の移動開始・終了等）に対応するノードの集合である。アークは、これらの事象間の時間的依存関係を表わす。アークの重みは、始端の事象と終端の事象との間に最低限必要な時間を表わす。この方式は、経由するすべての番線情報を染色体に含んでいるため、[2]で提案されている方法とは異なり、ある地点からある地点までの進路が複数存在するなどの理由で、車両の入換パターンが画一的でないような複雑な作業を実施する電車区にも対応可能であるという特徴を持つ。

3.2.2 遺伝子オペレータ

スケジューリング問題に対して GA を適用する場合、

交差等の遺伝子オペレータによって、致死遺伝子を生じないように工夫することが重要である。本稿では、各個体は必ず同じ編成を含んでいることに着目し、編成単位での交差を行なう。すなわち、2 点交差の場合には、個体 A の中でランダムに選択した編成 X とそれに対する作業、要員割り当てを、個体 B の中の編成 X とそれに対する作業、要員割り当てと交換する。1 点交差の場合には、編成を電車区への着時刻でソートし、個体 A の先頭の x 個の編成およびそれに対する作業と要員割り当てと、個体 B の x 個の編成およびそれに対する作業・要員割り当てとを入れ換える。突然変異は、使用番線、要員割り当て等にランダムに変更を加えることで実施する。

3.3 資源使用時刻決定アルゴリズム

拡張入換計画ネットワークに対して、PERT の手法を用いて、各作業、要員作業時刻の計算を行なう。拡張入換計画ネットワークには、競合する入換や作業の情報が埋め込まれているため、この計算結果は、常に物理的に実行可能な結果を与える。各事象の最早実行可能時刻と最遅実行可能時刻を計算し、バックトラックを行ないながら、評価値をあげるように入換を含む各作業の実行時刻を決定する。

4 実験結果と評価

本アルゴリズムを実装し、予備的な実験を行なった。対象としたのは、現実の電車区（配線は図 1）の昼間の作業で、対象編成数は 8 本である。実験の結果を表 1 に示す。その結果、いずれの場合も実用的な解が得られることが判明した。今後は、局所探索の併用等を検討して、より大規模な電車区に適用可能なように解探索の効率化を目指す。

表 1：実験結果

試行	最良解の評価値	最良解出現世代
1	120	509
2	120	403
3	108	315
4	128	120
5	128	410

参考文献

- [1] 富井, 周, 福村, 確率的局所探索と PERT を組み合わせた駅構内入換計画作成アルゴリズム, 電気学会論文誌, Vol. 119-C, No. 3, 1999.
- [2] 佐藤, 江口, 村田, GA ・ヒューリスティック融合スケジューリング方式 - 車両転線計画の作成 -, 情報処理学会, 人工生命とその応用シンポジウム論文集, 1997.