

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23710170

研究課題名（和文） 複雑制約を有する組合せ計画問題に対する群知能最適手法とその鉄道輸送分野への実践

研究課題名（英文） Swarm Intelligence Optimization for Solving Combinational Optimization Problems with Complex Constraints and Its Practical Application to Railway Transportation

研究代表者

辻 康孝 (TSUJI YASUTAKA)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：90304732

研究成果の概要（和文）：実世界の組合せ最適化問題は多くの複雑な制約を持つ。車両設備の運用と保守計画を同時に考慮する必要がある鉄道輸送システムでは、周期検査制約を満足する組合せ解を生成する必要がある。本研究では、周期的制約を効果的に取り扱う手法として、アントコロニー最適化法に基づく手法を開発し、実問題として旅客鉄道の車両運用計画問題への適用を行った。あわせて提案手法への局所探索手法の実装及び多目的への拡張も行った。さらに各列車の編成組成も考慮に入れたより複雑な運用計画問題へ適用するための提案手法の拡張も行った。

研究成果の概要（英文）：A real-world combinational optimization problem has many complicated constraints. In railway transportation systems, which need to consider operation of railway vehicles and their maintenance scheduling simultaneously, the combinational solutions which meet periodical maintenance constraints have to be constructed in optimization process. In this research, we developed the ant colony optimization-based approach as an efficient method which can treat periodical constraints, and applied it to a railway rolling stock planning for passenger trains as a real-world application. In addition, we implemented local searches in our approach and extended it for treating multi-objective problem. Then our approach was also extended for tackling the more complicated problem with train-sets composition.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,100,000	330,000	1,430,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：【社会・安全システム科学】・【社会システム工学・安全システム】

キーワード：組合せ最適化、鉄道輸送システム、アントコロニー最適化、スケジューリング

1. 研究開始当初の背景
エネルギー利用の効率化が社会のあらゆる分野で求められており、特にエネルギー利用の大

きなプラント、輸送・物流分野においてはより一層の効率化が求められている。これらの分野では、設備運用に係る様々な制約条件も

考慮しつつ、効率的な設備運用計画を策定しなければならない。特に安全性に直結する設備メンテナンスは極めて重要な制約条件であり、設備の運用計画は保守計画と同時に取り扱う必要がある。設備運用及び保守計画の計算機支援(数理的アプローチ)においては、これらは「組合せ最適化問題」としてモデル化させる。これらを同時に扱う場合、その解表現は、

- ・ 周期的なメンテナンス制約を満足する
- ・ 周期間隔やメンテナンスが実施可能なタイミング等の考慮が必要
- ・ 余裕を持たせたメンテナンスの組み込みは、結果的に非効率な運用に繋がる
- ・ 解の前半部分が後ろに影響する

等の単純化された組合せ最適化問題にはない取り扱いの難しさが存在する。周期制約を陽に取り扱う手法としてはペナルティ法が代表的である。

研究代表者は、周期制約を陽に取り扱う手法として、群知能型最適化手法であるアントコロニー最適化法(Ant Colony Optimization: ACO)に着目してきた。ACOでは、解の構成要素を一つずつ選択する構成的プロセスで解が生成されるため、周期制約を陽に取り扱うことが可能である。

一方、「旅客鉄道の車両運用計画問題」は周期的なメンテナンス制約を含んだ代表的な問題であり、また問題自体極めて複雑・大規模な組合せ最適化問題である。鉄道分野における成果は、ダイアグラムで表現できる他の輸送形態(貨物列車・船舶輸送・航空機)の機材運用問題への援用も期待できる。

2. 研究の目的

これらを踏まえた上で、本研究では、組合せ最適化問題における複雑な制約条件として周期的制約を取り上げ、周期制約を効果的に取り扱う汎用組合せ最適化手法として、ACOに基づく手法の開発を目的とする。また実応用例として「旅客鉄道の車両運用計画問題」への適用を目的とする。同問題は大規模・複雑・多様であり、提案手法の有用性を示すには最も適した問題であり、波及効果も大きい。具体的な研究目的を以下に述べる。

(1) 車両運用計画問題では、列車をノード、列車間の接続をアークとする車両運用ネットワークモデル(図1参照)が提案されている。このネットワークモデルをベースとして、周期制約を効果的に取り扱うACOの枠組みを開発し、使用車両数と回送コストの最小化を図るACOアルゴリズムの開発を行う。

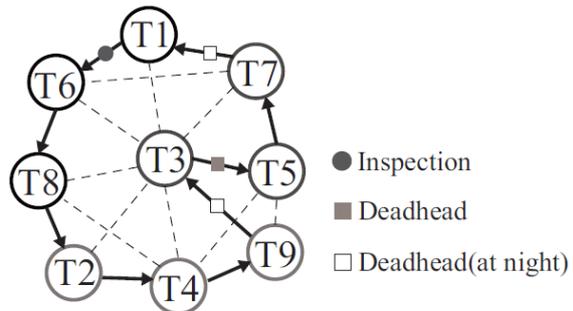
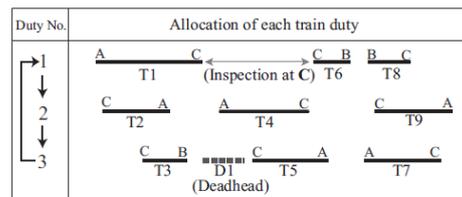


図1. 車両運用ネットワークモデル

(2) 大都市・中核都市圏で運行されている路線は、300~500程度の大規模路線である。そのためACOと適切な局所探索法を組み合わせた手法を考案し、大規模問題に適用できる手法を開発する。

(3) 列車ダイヤを実行するのに必要な車両数と回送コストは、一般に競合関係になる。十分な車両を用いれば回送を行う必要はなく、逆に最小の車両数を用いれば回送回数あるいは回送移動距離が増大する可能性もある。そこで計画担当者の柔軟な意思決定を支援するため、(1)で開発したACOを多目的性を指向した手法に拡張する。

(4) 現実の大規模路線では、単に列車本数が多いだけでなく、複数タイプの車両ユニットを、単独あるいは複数連結して用いる複雑な運用形態が取られている。そこで、車両を連結分割する複雑な運用形態に適用できるように、(1)で開発した手法の拡張を行う。

3. 研究の方法

対象とする路線の大きさ(列車本数)と運用形態によって、解くべき車両運用計画問題の規模と複雑さが異なる。そのため本研究におけるアルゴリズム開発では、

- ・ 問題規模(小規模, 中規模, 大規模路線)
 - ・ 運用形態(列車編成組成を考慮しない場合, 考慮する場合すなわち連結・分割運用)
- に分けて、以下のように段階的にアルゴリズム開発を進めていく

(1) ACOの枠組みにおける効果的な周期制約の取り扱い手法を確立する。研究代表者はACOの解構築プロセスの中で直接検

査周期を取り入れる手法を提案している。この手法を基本とし、より効果的な手法の開発を行う。車両運用計画においては、検査実施が特定時間帯に集中するのは好ましくないため、単に検査周期を満足させるだけでなく、組み込まれるタイミングも考慮した手法の開発を目指す。なお本研究では三日以内毎に検査が組込まれている解を実行可能とする。

(2) 列車本数の多い大規模問題へ適用するために開発ACOに局所探索の実装を行う。車両運用計画では、使用車両数と回送コストが評価コストとなる。そのためこれら二つの評価コストの改善を図る局所探索の開発を行う。

(3) 車両数と回送コスト(回送数と回送距離)の二目的最適化を取り扱えるよう開発ACOを拡張する。その際、単にパレート最適解集合を生成するのではなく、計画担当者にとって関心のある実用性のある解、すなわち最小車両数とそれより数台車両が多い解に探索を限定し、各使用車両数で回送コストが最小になるように探索に指向性を持たせる。

(4) 複雑な路線では、両数の異なる車両を単独あるいは複数連結して輸送量調整を行っている。例えば列車編成組成が3両、4両、(3+4)両、(3+3+3)両の運用では、二つの両数タイプの車両ユニットが用いられる。そこで、両数の異なる車両ユニットを用いる車両運用計画に対応したアルゴリズムの開発を行う。

以上の各項目については、実路線データを用いた数値実験により、開発アルゴリズムの性能評価を行う。また得られた解を行路表やダイアグラムに表示するためのダイアグラムビューアの開発も並行して行う。

4. 研究成果

各研究項目の研究成果の概要を述べる。

(1) 研究代表者らの周期制約を組み込むアプローチは、検査実施のタイミングが来たとき図1のアーコストの値を変更、すなわち検査可能なアーコストを小さくすることで周期性を取り入れている。これをさらに拡張し、検査実施日の時間帯を複数に分割し、その一つをランダム選択することで、検査実施の時間帯を分散させる手法を考案した。

数値実験により、開発したACOの探索性能と周期制約に対する効果を調べた。小規模問題に対しては、良好な結果が得られたが、大規模問題では、十分な探索性能は得られなかった。検査制約については、各世代で生成される解の約20~30%程度が実行可能

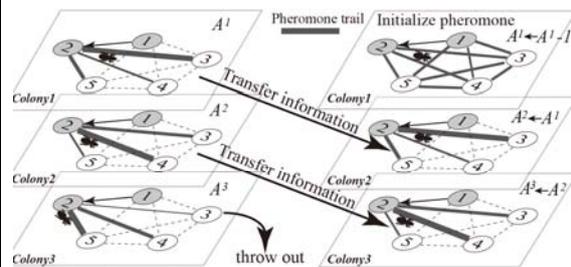


図2. 複数コロニーACOとコロニー更新

解であった。また検査時間帯の分散効果も見られたが、大規模問題では、検査箇所を多く含む解が生成されていた(2~4の過剰検査)。単に周期制約を生成するだけでなく、逆に過剰検査を削減する方策も必要ことが分かり、現在、ペナルティ法等の実装を検討している。

(2) 開発ACOへ局所探索の実装を行った。まずACOによって生成された解に対して、その中で最も担当列車数の少ない行路を列車単位に分解し、他の行路で当日中に接続可能なところに逐次挿入する局所探索法を実装した。この修正操作により使用車両数の削減あるいは削減を促進するような解探索が期待できる。

次に営業時間内での回送をすべて抽出し、抽出された回送の前後で行路の部分的な繋ぎ換えを行い、回送を解消できる繋ぎ換えがない場合は、回送時間を最も削減する繋ぎ換えを実行するといった局所探索の実装を行った(夜間回送にも同様の操作を適用)。この局所探索は前述の局所探索に引き続いて適用される。

数値実験を行った結果、両評価コストに対して有意な改善の効果が見られた。特に大規模問題に対しての改善の効果が大きかった。なお局所探索の適用によって実行可能解が破壊さえる場合もある。破壊された実行可能解の割合を調べたところ、許容できる範囲に収まっていたことを確認した。

(3) 計画立案者の選好を反映した解探索を実現する方策として、複数コロニーを用いた拡張ACOを開発した。複数コロニーACOの特徴として、各コロニーに車両数(最小車両数から数台多いまで)を割当て、独自のフェロモン情報を保持させてコロニーごとの解探索を実施する構成とした。また最小車両数が更新されたときには、全てのコロニーを更新する操作を新たに導入した。図2に複数コロニーACOの概要とそのコロニー更新操作を示す。

数値実験を行った結果、狙い通りの探索が実現できた。また単純に個体数を増やした単コロニーACO(+局所探索)と複数コロニー

一（+局所探索）との比較を行った結果，車両数及び回送コストの改善された解を安定的に生成することができた．これは複数のフェロモン情報を用いて探索することで生成する解の多様性が維持され，探索性能の向上に繋がったものと考えられる．なおコロニーを複数化した場合，計算コストの増大が問題となるが，各コロニーの探索を各プロセッサに割り当てる並列処理技術（OpenMP）により，計算コストの増大はある程度回避できるものと考えられる．

（4）列車編成の組成も考慮に入れた場合に対するACOの開発に対しては，まず各列車の編成組成を両数タイプ別に分割して考えることで両数タイプ毎の運用計画問題に分離して取り扱う．また同一タイプを複数使用している列車編成も同時刻・同駅間を走る複数の列車と見なす車両運用ネットワークモデルに拡張することで，（1）で開発した基本ACO（単目的）を適用するアプローチを考案した．図3に拡張車両運用ネットワークモデルを示す．

連結・分割運用では（A）同じ列車編成に組成されている車両ユニットの頻繁な分離と結合の回避，（B）連結車両ユニット同士の検査は同じタイミングでの実施が好ましい，といった考慮が必要となる．拡張ACOでは，列車本数の増大すなわち使用車両数の増大，検査設定箇所の偏在等の理由により検査制約を満たす解の生成が困難であった．そのため周期制約を満足しやすくするため（A）（B）の条件を緩和してACOを適用した．その結果，小規模問題に対しては良好な結果が得られたが，中規模以上については，3～5日の短周期での実行可能解の生成数が極めて低い結果となった．適切な局所探索の適用による改善，検査実施駅への回送条件の緩和等により解決できるものと考え，現在，それらのアルゴリズム実装を進めている．

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

1. Yasutaka TSUJI, Masahiro KURODA, Yukiya KITAGAWA, Yoshitaka IMOTO, Ant Colony Optimization Approach for Solving Rolling Stock Planning for Passenger Trains, CD-ROM Proc. of 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2012), (査読有), Paper No. 147, pp. 716-721, 2012.
DOI : 10.1109/SII.2012.6427319

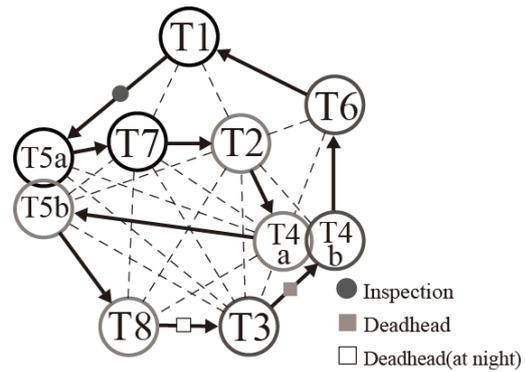


図3. 拡張車両運用ネットワークモデル

〔学会発表〕（計 1 件）

1. 辻 康孝, 黒田真弘, 北川幸弥, 異なる車両編成タイプを有する鉄道車両運用計画問題に対するアントコロニー最適化法に基づく解法, 日本機械学会 2013 年度年次大会, 2013 年 9 月 (岡山大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻 康孝 (TSUJI YASUTAKA)
九州大学・工学研究院・助教
研究者番号：90304732