

組合せ最適化技術を用いた配車計画支援システム

Vehicle Route Planning System Based on Combinatorial Optimization Techniques

袖子田 志 保 技術開発本部総合開発センター制御システム開発部
河 野 幸 弘 技術開発本部管理部 課長
鳴 尾 孝 信 物流・鉄構事業本部運搬・物流システム事業部コンピュータソフト部 課長
榊 原 茂 典 物流・鉄構事業本部鉄構事業部 部長

近年、多くの分野において、よりいっそうのコストダウンが求められ、システム全体の効率化と性能向上を図る試みが広がってきた。組合せ最適化技術は、特に複雑なシステムにおける効率化に有効な技術である。今回、物流業界でニーズの高い配車計画支援システムをターゲットとして、当社で培ってきた組合せ最適化技術を応用し、配車計画最適化アルゴリズムを開発した。ベンチマーク問題と実際の物流データを用いて評価したところ、車両台数を大幅に削減できる結果が得られ、組合せ最適化技術の有効性を確認できた。

A vehicle route planning system was developed based on combinatorial optimization techniques. The techniques are efficient methods to find quasi-best combinations from a huge number of combinations in a comparatively short time. Planning vehicle routes for delivery must consider combinations of vehicles, loads, and delivering orders satisfying tight and various conditions. The combinatorial optimization techniques applied to the developed system were evaluated with benchmark problems and real cases provided by logistics companies. The results of the evaluation indicate that the techniques are effective in the vehicle route planning. The technique is reviewed and the results of the evaluation reported.

1. 緒 言

近年の厳しい経済状況を背景に、よりいっそうのコストダウンが求められている。その一環として、SCM (Supply Chain Management) に代表されるように、従来の局所最適状態を見直し、全体最適化を目指す動きが見られるようになった。膨大な組合せのなかから最適なものを短時間で効率良く見つける組合せ最適化技術は、全体最適化のためには必須の技術である。近年、コンピュータの性能向上に伴い、組合せ最適化技術を用いてシステム全体の効率化と性能向上を図る試みが、物流業界をはじめとして、多くの分野に広がってきた。

一方、当社でもさまざまな分野に対して組合せ最適化技術の応用開発に取り組んでおり、これまでも多くの当社の製品へ適用してきた。今回、その応用展開を図るため、物流業界でニーズが高い配車計画支援システムをターゲットとした配車計画最適化アルゴリズムを開発した。実際の物流データを用いて、配車計画支援システムを評価した結果、車両台数を大幅に削減できることが分かり、配送コストの削減に有効な組合せ最適化技術であることを確認した。

本稿では、まず配車計画支援システムの概要について触れ、次に、組合せ最適化技術の紹介とその効果を報告する。

2. 配車計画支援システム

2.1 概 要

配車計画支援システムは、早急な導入が望まれている物流業務支援システムの一つである。配車計画とは、配送センターと各配送先との間で集配する荷物に対し、車両の許容積載量や配送時間帯などの各種制約条件を考慮しつつ、作業時間の短縮や配送コストの最小化などの目標を満足するように、使用する車両や荷物の集配順序などを計画する作業である。

従来、配車計画は熟練の配車担当者が長年の経験と勘に基づき、効率良い配送作業となるように数時間から半日を掛けて行われてきた。しかし近年、物流業務において発生するコストの低減化がいっそう求められるようになり、以下のような特長がある配車計画支援システムに注目が集まっている。

- (1) 熟練担当者でなくても良い計画立案ができる。
- (2) 短時間で計画立案できるため、人材を有効活用できる。
- (3) 数値に裏付けされた明確な計画立案が可能で、客観的に計画結果を分析できる。

当社はこのようなニーズにこたえるため、配車計画支援

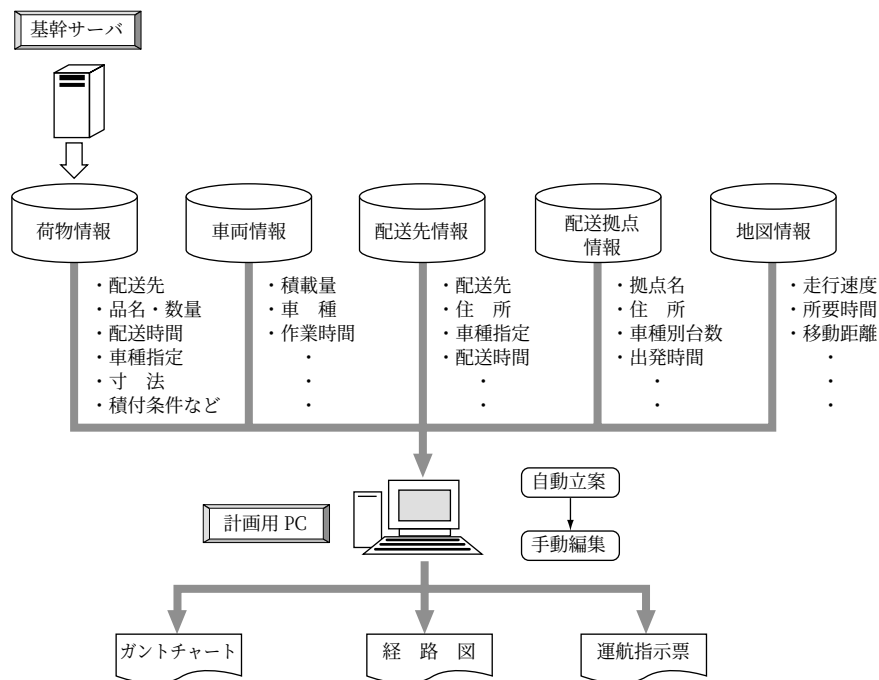
システムを開発した。

2.2 システム構成と機能

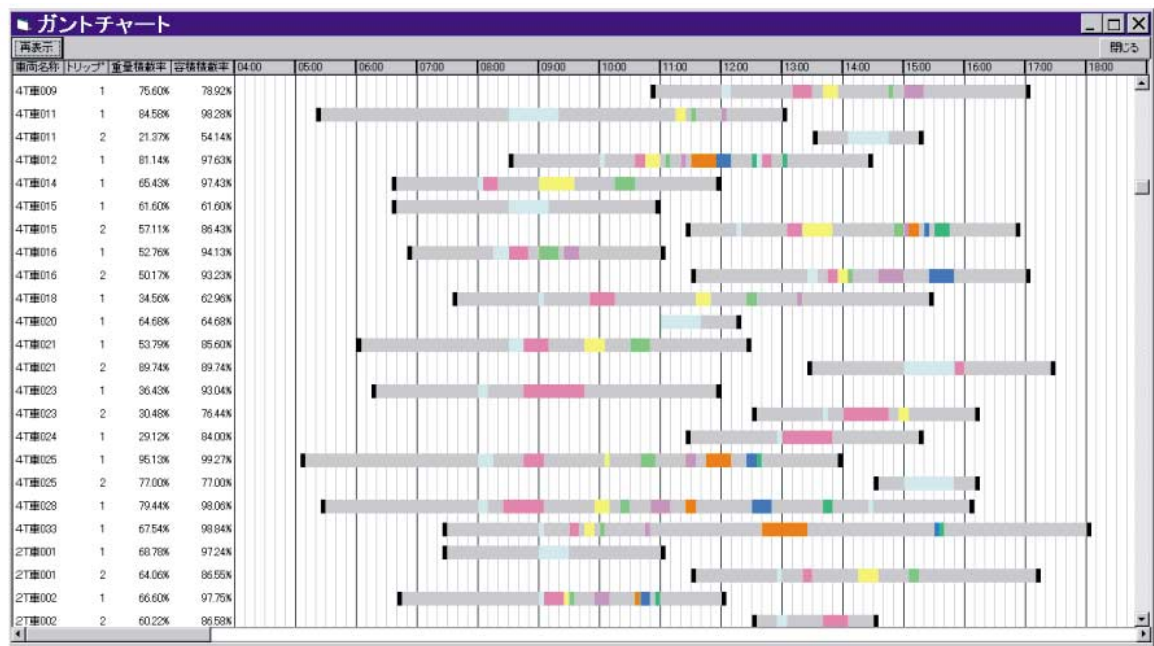
開発した配車計画支援システム（以下、配車計画システムと呼ぶ）の構成を第1図に示す。配車計画システムは、車両台数、走行距離、所要時間などから構成される配送コストの最小化を目的として、基幹サーバから得られる荷物情報、車両情報、配送先情報などの各種データに基づいて、使用車種、各車両への荷物の割付け、配送順序などの計画

を自動立案する。また、ユーザの知識や経験も計画立案においては重要な考慮要素である。ユーザの意思も反映させるため計画立案結果を手動で編集することができるようにし、システムとして柔軟性をもたせている。

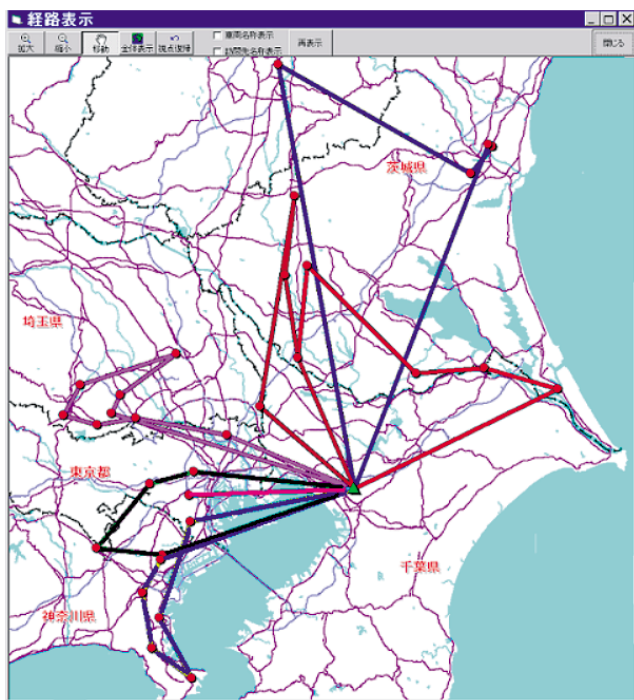
計画立案結果は、第2図に示すようにガントチャートや第3図に示す地図上での経路を表示する運行ルート図などの形式で出力できるため、時間的および地理的な観点からの評価が可能である。配車計画システムでは、第4図に示



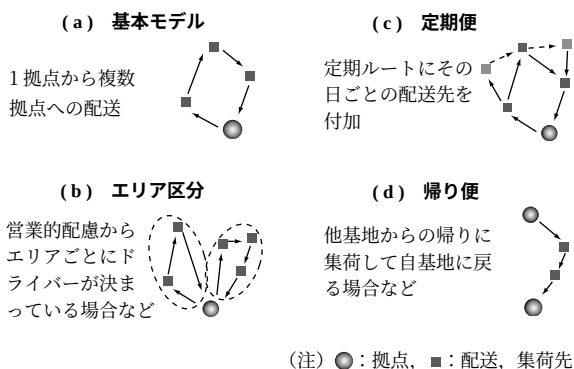
第1図 配車計画システムの構成
Fig. 1 Vehicle route planning system



第2図 計画立案結果の出力例（ガントチャート）
Fig. 2 Planned results: Gantt chart



第3図 計画立案結果の出力例（経路図）
Fig. 3 Planned results: Routes



第4図 配送形態の種類
Fig. 4 Types of available delivery patterns

ような配送形態をはじめとし、さまざまな配送形態に対応しユーザの幅広いニーズに的確に対応できるようになっている。

3. 組合せ最適化技術

3.1 組合せ最適化問題と手法

配車計画システムで必要となる最適化は、組合せ最適化問題の一つである配車計画問題（Vehicle Routing Problem：以下、VRP と呼ぶ）としてモデル化されており、非常に難しい問題として位置づけられ、さまざまな手法の研究が行われている。例えば、10 件の配送先を訪問する場合、制約条件が何もない場合にはその訪問順序の候補は 10 の階乗、すなわち 3 628 800 通りもあることになり、これらの候補

のなかからコストが最も小さい訪問順序を探し出すのは難しい。

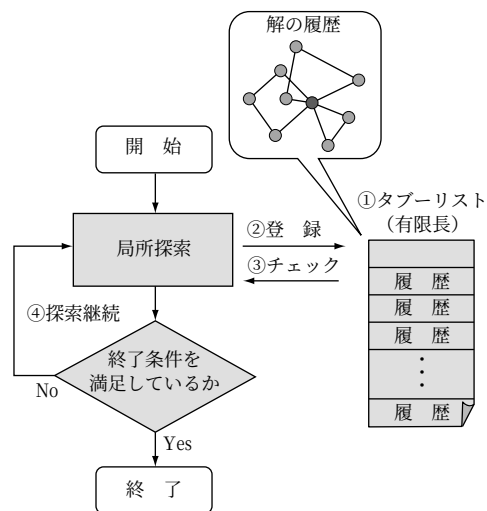
一般にこのように膨大な組合せ候補のなかから、最適な候補を求めるのは非常に難しいが、実際には長時間を掛けて最適な候補を求めるよりも、短い時間で準最適な候補を求める方が実用的である。そこで近年、短い時間で比較的良い候補を見つけることができる「メタヒューリスティックス」と呼ばれる手法に注目が集まり、研究が進められている。よく知られた代表的な手法として以下の手法がある⁽¹⁾。

- (1) 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm)
- (2) 焼きなまし法 (Simulated Annealing)
- (3) タブーサーチ法 (Tabu Search)

3.2 配車計画最適化アルゴリズム

配車計画システムに適用する配車計画最適化アルゴリズムは、計算時間や得られる解の実用性を考慮し、「メタヒューリスティックス」の一つであるタブーサーチ法をベースとして開発した。

タブーサーチ法は一つの候補から出発し、その近傍にある候補からより良い候補を次の候補として、逐次見つけていく局所探索法 (Local Search) と呼ばれる探索手法をベースとしたものである。タブーサーチ法は、第5図に示すようにタブーリストと呼ぶリストを備えており、過去一定期間に見つけた候補をタブーリストに登録しておき、そのタブーリストに登録されている間はその候補を選ぶことを禁止とする。より良い候補がない場合、局所探索法ではその時点で探索を打ち切るが、タブーサーチ法では、タブーリストに登録されていない近傍（局所探索による近傍よりも広い近傍）



第5図 タブーサーチ法のフローチャート
Fig. 5 Flow of Tabu Search

の候補のなかから次の候補を選ぶことを許している。このように、過去に見つけた候補へ戻ることなく、つねに新しい候補を探し続けることで、より良い（準）最適な候補を求めるのがタブーサーチ法である。

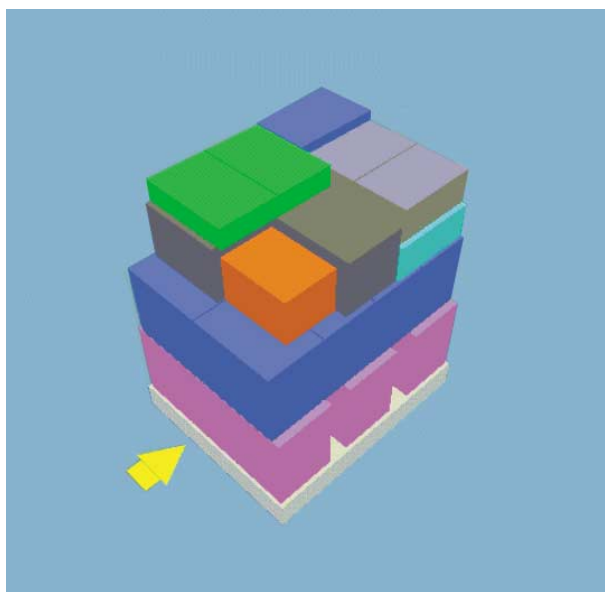
3.3 積付計画との連携

一般に荷物の重量や容積だけで積載対象の車両にその荷物が積載可能であるか判断している場合、実際には荷物を積載できないことも多々あり、ときには使用する車両台数が増えることもある。配車担当者は、その都度計画を修正し、また、新たに車両を確保する必要があるなど多くの手間が掛かる。立案した計画結果の実現性を高めるためには、荷物の形状も考慮に入れる必要がある。

当社では、第6図に示すようにパレットへの荷物の積付方法を計画するシステムを開発した実績があり⁽²⁾、配車計画システムにおいても荷物の形状を考慮した積付計画と連携させながら配車計画を立案する機能を備えている。各車両の積載スペースに対する荷物の積載可否や荷物の積付方法を考慮することで、より実用的なシステムとしている。また、配送先の訪問順も加味できるため、途中で荷物の積替作業が不要な積付方法を立案でき、荷積・荷卸作業時間の短縮を図ることが可能である。

4. 配車計画最適化アルゴリズムの評価

まず、開発した配車計画最適化アルゴリズム（以下、開発アルゴリズムと呼ぶ）をほかの手法と比較評価するため、配車計画最適化手法の評価用として一般に公開されているベンチマーク問題を用いて評価を行った。次に、実用性の



第6図 積付計画イメージ
Fig. 6 Image of loading plan

面からの評価を行うため、実際の物流データを用いた性能評価試験を実施した。

4.1 ベンチマーク問題での評価

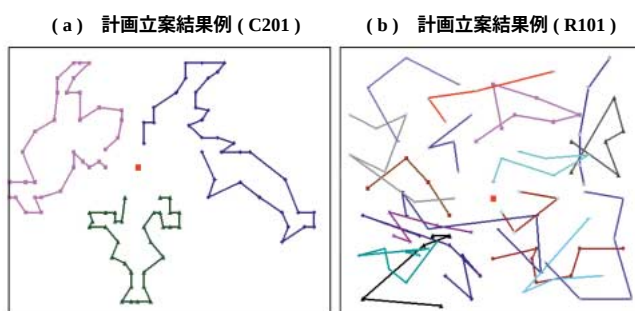
開発アルゴリズムの評価を行うベンチマーク問題には、VRP に時間制約条件を加え、より現実的な問題となっているソロモンの時間枠付ベンチマーク問題⁽³⁾を採用した。得られた解の評価項目は、まず車両台数が少ないこと、次に総走行距離が短いことの順に優先度を設けて定めた。

配車計画システムによる計画立案結果例を第7図に示す。また、各評価項目の数値を現在知られているベスト解（以下、現ベスト解と呼ぶ）の値と併せて第1表に示す。第1表に示している問題に対する現ベスト解は、それぞれ問題の特徴に合わせ異なるアルゴリズムによって求められた結果であるが、開発アルゴリズムはいずれの問題においても現ベスト解と比較し同程度の優良な解が得られており、開発アルゴリズムの有効性と汎用性を確認できた。

4.2 実際の物流データでの評価

実際の物流データに対して、開発アルゴリズムを適用した配車計画支援システムを用いて計画の自動立案を行い、計画立案結果の評価を実施した。

計画立案結果の例を、現状の人間が立案した場合の計画と併せて第2表に示す。- (a) に示す事例1は、荷物が比較的重いため車両の積載重量が制約となる場合が多く、荷物の形状までは考慮しなくてもよい事例であり、積付計画との連携は行っていない。- (b) に示す事例2は、重量と容積からだけでは車両に対する積載可否が判断できない事



第7図 ベンチマーク問題に対する計画立案結果例
Fig. 7 Results for benchmark problems

第1表 計画立案結果と現ベスト解との比較
Table 1 Comparison of planned with optimized results

評価項目 問題項目	計画立案結果		現ベスト解	
	車両台数 (台)	距離* (-)	車両台数 (台)	距離* (-)
C201	3	590	3	590
R101	18	1 707	18	1 634

(注) *: 単位はベンチマーク問題の設定に基づく。

第 2 表 実際の物流データに対する計画立案結果と現状比較
Table 2 Comparison between manual and system plans for real data

(a) 事例 1 (積付計画との連携が不要な事例)

評価項目	ケース 1	
	M	S
車両台数 (台)	60	54
車両台数削減率 (%)	10	

(b) 事例 2 (積付計画との連携が必要な事例)

評価項目	ケース 1		ケース 2		ケース 3	
	M	S	M	S	M	S
車両台数 (台)	54	38	62	45	59	46
総走行距離 (km)	6 128	4 630	6 459	5 371	6 810	5 298
積載効率 (%)	68.1	96.8	68.5	94.4	71.7	91.9
車両台数削減率 (%)	29.6		27.4		22.0	

(注) M : 熟練担当者が計画した場合の値 (Manual planning)

S : 配車計画支援システムで計画した場合の値 (System's planning)

例であり、荷物の形状と積載順序を考慮し、より実現性の高い計画とするため、積付計画と連携させている。 - (a) および - (b) の事例における各ケースは、1 日当たりの実際の配送作業に対応している。いずれのケースにおいても現状の配送業務と同じ各種制約条件を考慮して計画立案を行っている。

第 2 表から現状の人手による計画立案結果と配車計画システムによる計画立案結果とを比較し、車両台数や総走行距離の低減率の点から、コスト削減効果が大幅に期待できる結果が得られていることが分かる。特に、 - (b) の事例においては積付計画と連携し計画立案を行った場合でも、90%以上の積載効率で配車が可能であり、かつ 5 ～ 10 分程度の短い計画立案時間で本結果が得られている。本事例は、従来半日程度の時間を掛けて計画立案を行っているケースであることから、配車計画システムによる計画立案時間の短縮化が期待できる結果となっている。組合せ最適化技術を用いた配車計画支援システムによって、短い計画立

案時間で実用性を加味しつつ高い効率化を併わせて実現でき、実際の物流に対する適用が有効であることが確認できた。

5. 結 言

組合せ最適化技術を用いた配車計画最適化アルゴリズムを開発し、配車計画支援システムに適用した。また、ベンチマーク問題、および実際の物流データを用いた評価において、開発した配車計画最適化アルゴリズムの効果を確認できた。

今後は、配車計画支援システムを自動倉庫管理システム、輸配送情報システムなどほかの物流業務管理システムと連携させ、総合的な物流システムへ展開していく。組合せ最適化技術は、広い分野で効果が期待できるものであり、物流業務全体を最適化する物流ソリューションや各種工場の生産スケジューリングなど、ほかの分野への適用を目指す。

参 考 文 献

- (1) 久保幹雄, 松井智巳: 組合せ最適化—短編集—朝倉書店 1999 年 1 月 pp.116—131
- (2) 物流システム事業部事業開発部: サントリー株式会社積付支援システム搭載 AGV 石川島播磨技報 第 40 巻 第 6 号 2000 年 11 月 pp.342—344
- (3) M. M. Solomon: On the Worst-Case Performance of Some Heuristics for the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window Constraints Networks Vol.16 (1986) pp.161—174
(オンライン) 入手先
< <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problem.htm> >
(参照 2003-3-31)