

OR 技術とその適用システム

築山 誠, 森 一之, 安部 恵介

1. はじめに

産業システムの計画や運用は数理的にモデル化するとその多くは組合せ最適化問題となるが、一般には人間の経験と知識によって解決しているのが現状といえる。

一方、情報制御技術の進展に伴い種々の分野で計算機による自動化、あるいは意思決定支援が進められている。このコア技術として OR 技術が適用されている。

本稿では、産業システムにおける計画システム・運用システムにおいて、OR 技術がどのように適用されているのか、電力、交通、製造、物流などの各分野の事例を用いて紹介する。

2. OR 技術適用の概要

産業システムにおける OR 技術の適用は図 1 に示す様に、設計、計画、運用の 3 段階に分けて考えることができる。これらの段階で、主に使用されているのは、離散事象系シミュレーション技術、最適化技術、それらを融合した技術である。

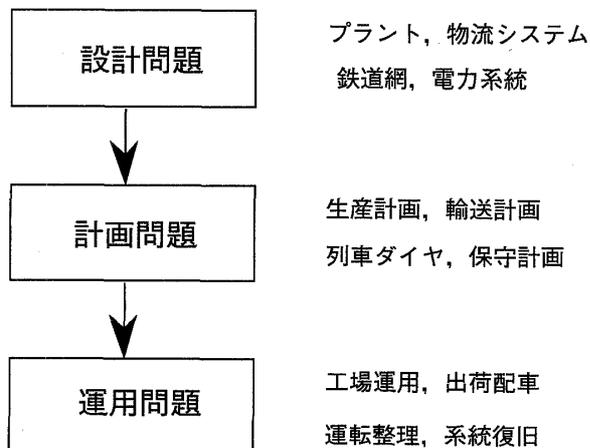


図 1 産業システムにおける最適化問題

つきやま まこと, もり かずゆき, あべ けいすけ
三菱電機(株) 産業システム研究所
〒661-8661 尼崎市塚日本町 8-1-1

大規模かつ複雑なシステムではモデル化の時点で問題を簡略化することも多いため、定式化した最適化問題の厳密解を求めても、それがそのまま現実問題の最適解にならないことも多い。そのような理由で、厳密な最適性にこだわらないヒューリスティックアプローチも多用される。

シミュレーションは大規模複雑システムの計画・運用問題の解決を支援する最も実用的でポピュラーなツールである。しかし、シミュレーションそのものには計画案作成機能はないため、メタ戦略との組み合わせ使用により解探索を行っている。

図 2 は最適化問題への適用手法を示す。図 3 は産業システム分野における運用制御システム、意思決定支援システムに OR 手法がどのように組み込まれているのか、その概念的構造を示している。

3. OR 技術の産業システムへの適用

3.1 エレベータ群管理システム

オフィスビルには 5 台から 10 台のエレベータが並んで設置してある。呼びボタンを押すとどれか一つのエレベータの表示灯がつき数秒後にそのエレベータが来る。これはエレベータ群管理システムが適当なエレベータを割り当てた結果だ。群管理システムは客の平均待ち時間やイライラ度を最小にするようにエレベ-

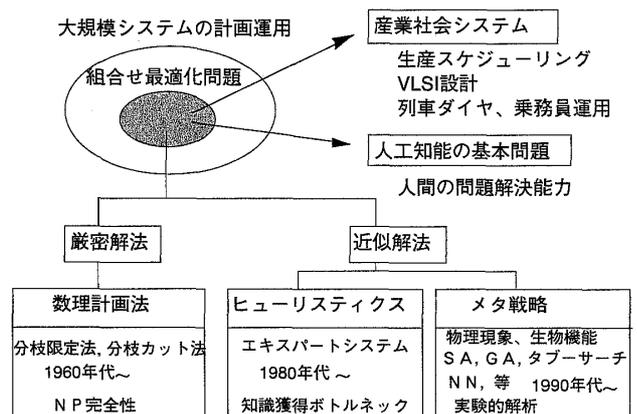


図 2 大規模組合せ最適化問題の解法

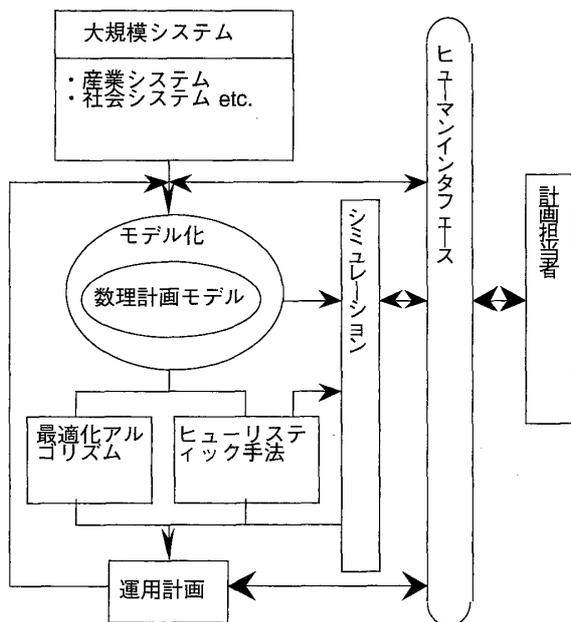


図3 OR技術適用の構造

タを割り当てる。問題の難しさは、呼びが各階で、また時間間隔も確率的に発生すること、リアルタイムに割り当てを実行しなければならないことにある。ファジー技術やニューラルネット技術が適用されている。

3.2 自動車のナビゲーションシステム

ナビゲーションシステムの機能の一つに、目的地経路案内がある。道路地図上で始点と終点を与えれば、最短距離や最短時間となる経路を探索をする。経路探索問題は古くからあるOR問題のひとつであり、Dijkstra法などの解法が昔からある。が、実用版では計算時間短縮と記憶メモリの効率的使用をポイントに近似解法や事前探索解利用法などが使用されている[1]。

3.3 電力系統運用計画システム

電力系統の巨大化、複雑化に伴い、各種計画業務の自動化が検討されている。そのような例として、系統設備の点検/拡充等のための作業停止計画問題に対して組合せ最適化手法を適用したシステムが開発されている。これは、運用制約、実施要求日等を満足するための日程調整問題と、作業実施時に系統の信頼度を確保するための系統構成立案問題とからなる二重の組合せ最適化問題として定式化し、メタヒューリスティクスを適用し解を求めている[2]。

また、停電等の事故時に、影響を最小限に抑えながら速やかに復旧を図る系統復旧計画問題も代表的なものといえる[3]。

接続水系日間運用計画立案システムは、水系に存在

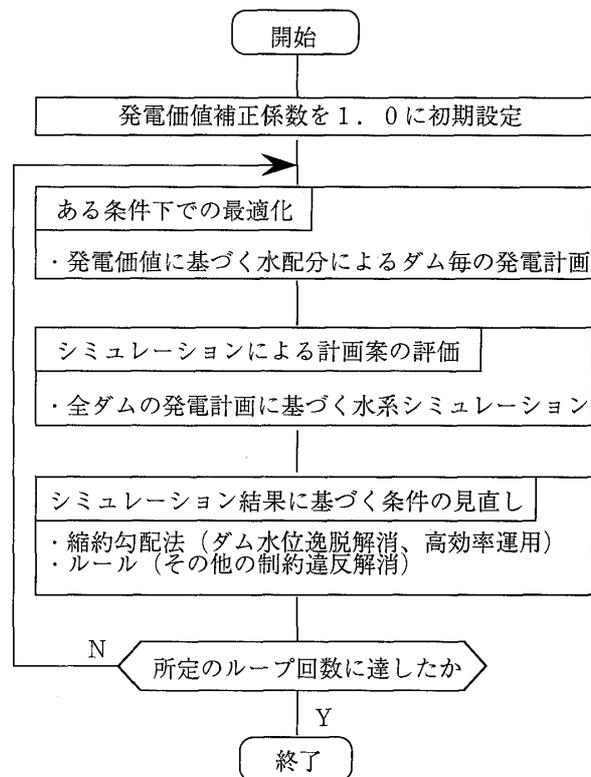


図4 接続水系運用計画問題の解法

するダムならびに発電所を経済的に運用するために、翌日の発電計画を立案するものである[4]。運用計画の立案にあたっては、系統運用者が、計画立案、シミュレーションによる評価、計画の見直し、という手順を繰り返すことで計画立案するのが一般的である。この計画立案プロセスを効果的かつ効率的に実施できるように支援システムが構築されている。

3.4 送水運用計画システム

上水道システムでは、水は浄水場で飲料水にきれパイプ、ポンプといった送配水設備によって需要家に送られる。水需要は朝と夕に山をもつパターンで変動するが、浄水処理量は日間ほぼ一定している。これらをバランスさせるためのバッファとして貯水池、配水池が介在している。池のバッファを活用し送水ポンプの運転コストを最小にすれば大幅な省エネルギーとなる。このようなポンプ運転計画問題に対して混合整数計画法やシミュレータとヒューリスティックを結合した方法等が適用された[5]。

3.5 工場ライン設計支援システム

生産システムの機能の大半は工場能力に依存する。その意味で工場設計は生産システムにおける最も重要な問題といえる。図5に工場設計問題の概要を示す。

工場新設時や製造ライン改造時には、効率的生産を実現するために、ライン配置、製造機器の選択、工場

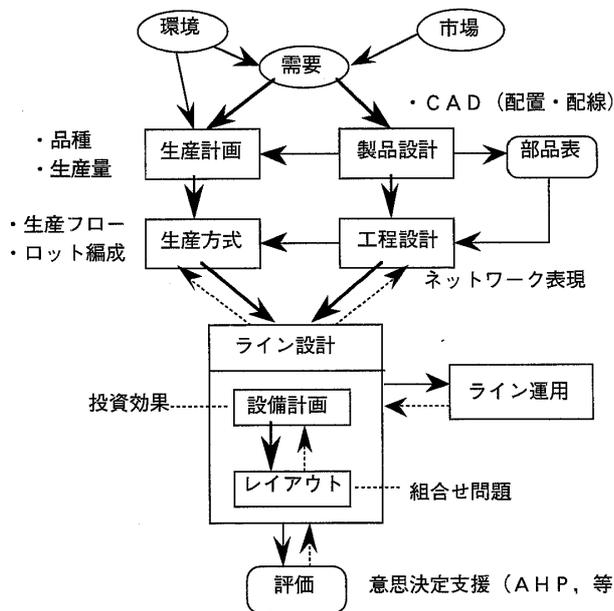


図5 工場設計問題

内物流を検討する。この検討の善し悪しが大幅なコスト増減に関わってくる。そこで、効果的な検討を目的に工場ライン設計支援システムを開発した。これは、計算機上に製造ラインをモデル化し、そのモデルを操作することで最適な製造ラインを求めるものである。設備レイアウトは一種の組合せ問題でありこれに対して種々のアルゴリズムが検討されているが、現在の世の中の技術は実用レベルには至っていない。我々はこの問題に対してインタラクティブな設計を行う新しい支援システムを開発した[6]。これは、レイアウト決定サブシステムとスケジューリングシミュレータからなる。レイアウト案に従って入力された製造ラインは3次元CGによって表示され、シミュレーションと連動して搬送車や機械、ロボットが動き、その結果はリードタイム、WIP変動、稼働率などの指標に整理される。

工場ライン設計支援システムは、製造組立機器や監視制御システムなどの個別システムだけでなく工場全体の設計をとりまとめる総合エンジニアリング力としてのシステム製品と位置づけられる。

3.6 生産計画・運用支援システム

(a) オフラインスケジューリング

工場の日々の生産では、図6に示すように、どの品種を何個、何時何分に製造ラインに投入するかを決定するために、また特急品製造が要求されたときに受け入れ可能かどうかを判断するために、離散事象シミュレーションとインタラクティブ修正をベースとした生産運用管理システムが使われている[7]。

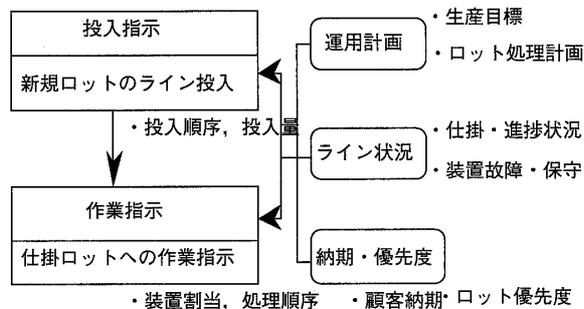
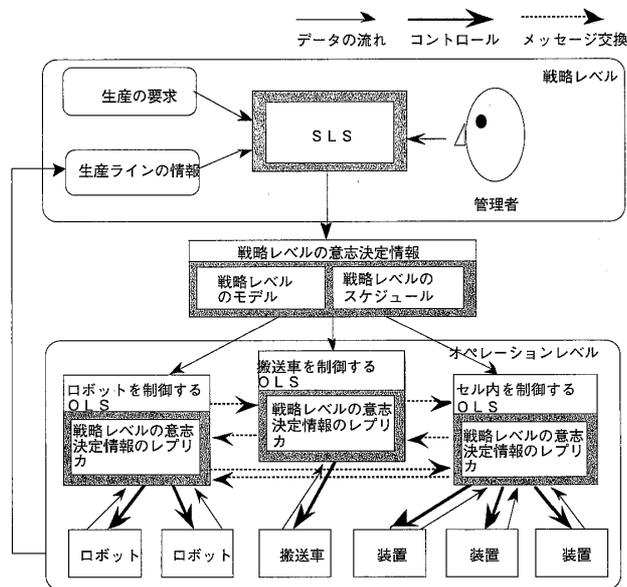


図6 生産計画問題



SLS: 戦略レベルスケジューラ
OLS: オペレーションレベルスケジューラ

図7 階層分散型スケジューラ

装置が次に処理すべきジョブを選択するディスパッチングルールを用いたシミュレーションによりスケジュールを作成する。ディスパッチングルールによるスケジュール作成は、組合せ最適化問題の解法としては、局所探索により一つの実行可能解を作成する構築型手法といえるが一般にこれだけで十分に良い解が得られる保証はない。そのため、対話型の修正によって逐次改善できるエディタ機能を実現した。

(b) リアルタイムスケジューリング

生産効率向上のためには、個々の装置においてライン状況にリアルタイムに対応するとともに、生産システム全体としての効率化を図り与えられた生産要求に対応していく必要がある。そのためには個々の装置レベルの自律的な意思決定とともにシステム全体としての効率的なスケジュール作成機能が必要である。そこで、システム全体の意思決定・管理レベルと個々のサブシステムレベルから成る階層分散型リアルタイムスケジューリングシステムを開発した[8]。

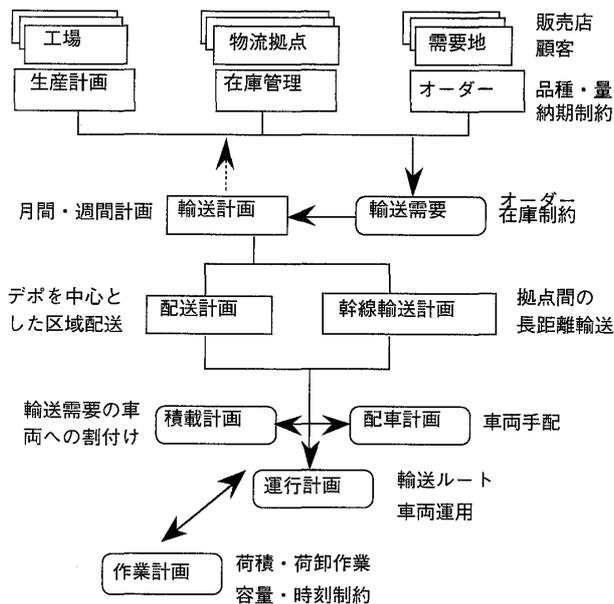


図8 輸送計画問題

基本的考え方は図7に示すように、上位の階層でシステム全体の観点から戦略的スケジュールを作成し、下位の各サブシステムは上位から与えられたスケジュールを規範として、個々の状況に対応したリアルタイムな意思決定を行うものである。

3.7 輸送・配送計画システム

(a) 幹線輸送計画システム

物流システムにおいても設計は最も重要な課題であり、物流センターや集配拠点等の物流拠点を適切な規模で配置し、需要地、拠点、工場間の効率的な輸送方式の設計を行う。拠点配置と輸送方式は相互に関連しており、全体としてのコスト最小化を図る必要がある。

輸送計画問題は図8に示すように構成される。工場や物流拠点での生産計画や在庫管理による制約に基づき、需要地（販売店、顧客等）のオーダーに対する効率的な輸送計画を作成しなければならない。この目的に対して、拠点間の幹線輸送計画手法を開発した[9]。これは、知識ベースと最適化手法を結合したものであり、知識ベースにより制約条件の記述と解空間の縮小を行い、最適化アルゴリズムにより効率的な解空間の探索を行う。図9に本輸送計画の求解過程を示す。

(b) 出荷配船計画

化学プラント等の物流は船舶による輸送が主体となる。配船業務は各地点での生産/消費計画に基づく在庫バランスやユーザーオーダーに対応する出荷計画とこれを実現する配船計画を同時に考慮して行う必要がある。さらに荷積/荷揚バースの制約や気象条件、潮流の影

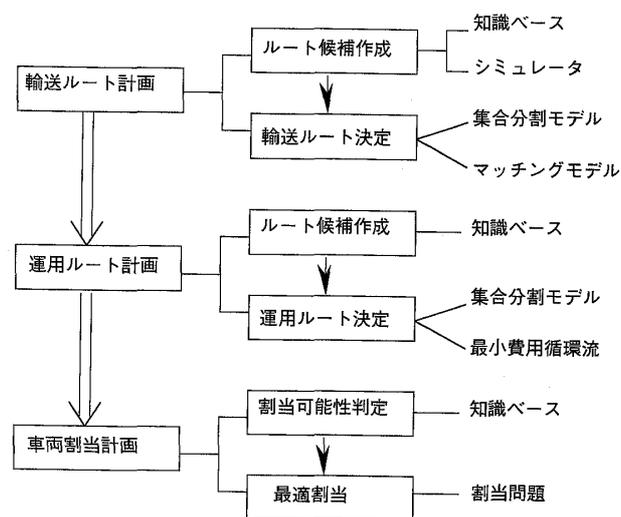


図9 幹線輸送計画

響等も考慮する必要がある。悪天候やオーダの追加/変更による計画修正も度々ある。

輸送コスト削減のためには、自社で保有する専用船の稼働率を向上することが重要である。シミュレーションをベースとしたヒューリスティックなアルゴリズムによる配船計画システムを開発した。解空間の探索によりさらに最適化を図ることも可能である。

3.8 鉄道ダイヤ作成・運行管理システム

鉄道のダイヤ作成では、普通電車、急行、快速などの電車をターミナル駅から何時何分に発車させるのか、追い越し駅にて先行の普通電車を何分待たせるのかを決める。このダイヤ作成のために、離散事象シミュレーションとヒューリスティックを組み合わせた支援システムが使われている。

また、情報システムの発展により乗客の輸送需要をより正確に把握することが可能となってきている。そこで、乗客需要に基づくより柔軟な列車運行計画作成方式を提案した[10]。

列車運行計画は、列車本数、運行ルート、停車パターン、出発順序等多くの要因を含む大規模複雑な組合せ問題である。提案手法は乗客の輸送需要を満足し総所要時間を最小とする列車運行計画を作成するものであり、図10に示す部分問題により構成されている。

列車運行はネットワークモデルとして実現されており、また各駅での列車出発順序はシミュレーション実行中において局所探索により自動的に決定される。

4. 今後の課題

産業システム分野での計画、運用管理システム問題は一般に問題が複雑に絡み合った大規模問題である。

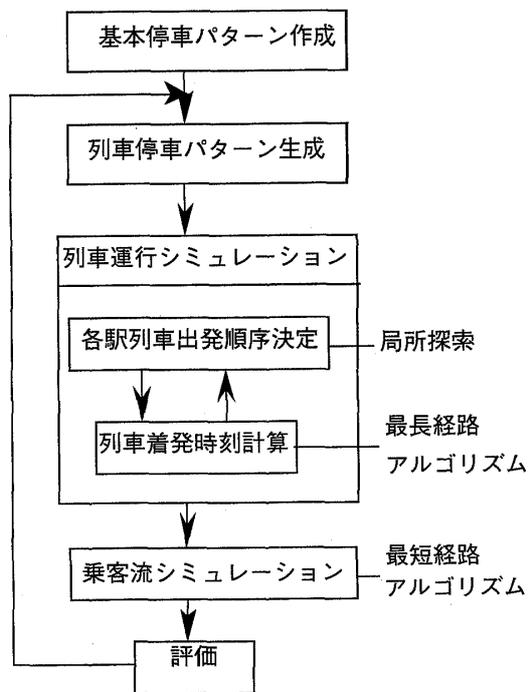


図10 乗客流に基づく列車運転計画

まず、漠然とした問題を解析、整理し全体構造を明確にしていく。この段階で複雑で漠然としていた問題は、部分問題に切り分けられるが、この部分問題も依然として大規模であり、問題の構造は、組合せ最適化問題や非線形最適化問題となるものがほとんどである。

OR技術として主に使用されているのは、シミュレーション技術と各種最適化技術やヒューリスティクスとの組合せであった。その理由は、各部分問題でさえ最適化ツールの適用可能規模を越えていることにもある。相当規模の問題に対して真の最適解を短時間で求めることができるならば、適用システム実現の仕方も違ったものになるであろう。非線形計画ツール・整数計画ツールの扱える規模の拡大、メタ戦略アルゴリズムの進展に期待したい。筆者等も、IA法（免疫的アルゴリズム）、やIA法による多峰性関数の全局所解探索法などを開発している[11]-[13]。

今後、適用問題としてダイナミックスケジューリングの要求が増えてくるであろう。これは、時々刻々と変化する状況をリアルタイムに把握するインフラが整備されていくからである。

7. おわりに

産業システムにおけるOR技術適用システムについて述べた。実用化されているシステムを中心に紹介したが、実用化に至っていないものが一部含まれている。

その意味で、OR技術の新たな適用分野として研究が進展することを期待する。

また本稿でふれなかったOR技術適用事例も多数ある。特に、道路情報システムやサプライチェーンマネジメント等に関連して今後も種々の新たな問題が生じ、OR技術の適用が期待される。

参考文献

- [1] 上川, 梅津: 車載ナビゲーションシステムの経路探索技術, 計測と制御, Vol. 36 No. 11 790/792, 1997.
- [2] 小島, 石黒, 渡辺: 組み合わせ最適化手法による電力設備の作業停止計画の自動化, 電気学会電力・エネルギー部門大会 (1998).
- [3] 長澤, 他: 基幹系統事故時復旧支援のための復旧目標系統・復旧操作手順立案手法, 電気学会電力技術研資, PE-92-160 (1992).
- [4] Tomeoka, Nakajima, Kawachi, Nakamura, Watanabe: New Daily Hydro Scheduling System for Multi-Chain Hydro System, Proc. of ESAP '93, 33/38 1993.
- [5] 小澤, 築山: 知識ベースによる送水系統運用支援法, 電気学会論文誌D, Vol. 109-D, No. 5, 1989.
- [6] 森, 安部, 築山: 設備レイアウト計画システム Layout-Makerの開発, 計測自動制御学会システム情報部門シンポジウム, 1999 予定.
- [7] 森, 築山, 福田: ジョブショップ型スケジューリング問題に対するハイブリッドスケジューリング法, 電気学会論文誌C, Vol. 112-C, No. 9, 1992.
- [8] 森, 築山, 福田: 階層型意思決定システムによるFMSのオンラインスケジューリング法, 電学論D, 113, No. 9 (1993).
- [9] 安部, 築山: ロジスティクスにおける輸送計画手法, 計測自動制御学会論文集, Vol. 26, No. 12 (1990).
- [10] 安部, 他: 最長経路法を用いた列車運行シミュレーション, 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 1 (1986).
- [11] Fukuda, Mori, Tsukiyama: Immunity-Based Management System for Semiconductor Production Line, Artificial Immune Systems and Applications, Edited by D. Dasgupta, pp. 278-289, Springer 1998.
- [12] 森, 築山, 福田: 多様性を持つ免疫的アルゴリズムの提案と負荷割り当て問題への応用, 電気学会論文誌C, Vol. 113-C, No. 10, 1993.
- [13] K. Mori, M. Tsukiyama and T. Fukuda, "Application of Immune Algorithm to Multi-Optimization Problem", EEJ (Electrical Engineering in Japan), Vol. 122, No. 2, 1998.