

目的戦略志向協調推論方式の開発と 昇降機保全技術者割付けシステムへの適用

本 間 正 喜[†] 中 村 晴 久[†]
中 野 明 男[†] 鶴 田 節 夫^{††}

エレベーターなどの保守産業が急速に発展し、保守台数が急増する中、昇降機保全技術者割付けの自動化が重要になってきた。ところが、本問のような人員割付けは人や社会的条件が絡むため自動化は容易ではない。1) 本問題を分析すると、500都市以上の大規模巡回セールスマン問題に匹敵するうえ、主要制約だけでも勤務条件や顧客条件など100近い複雑・例外的で多分に感覚的な条件を持つ難問であった。2) そこで、知識を目的とその分割・実行・調整・統合により達成する戦略の多階層木として表現し問題を解く目的戦略志向協調推論方式を開発し、適用した。3) 全国の代表的な営業所での現場検証の結果、複雑な制約条件を満足する効率の良いスケジュールの作成が手修正時間も含めて従来の50%以下の時間で可能となった。これにより本割付けシステムの実用性ならびに目的戦略志向協調推論方式の有効性を確認した。

Development of Goal Intended Strategic Coordination Inference Technique and Its Application for Elevator Maintenance Engineer Scheduling System

MASAKI HONMA,[†] HARUHISA NAKAMURA,[†] AKIO NAKANO[†]
and SETSUO TSURUTA^{††}

Increase of the number of elevators causes the deficiency of their maintenance engineers. Under such circumstances, automatic scheduling of above engineers is becoming more essential, as a very promising way to improve both customer satisfaction and working conditions. However, personnel's scheduling is usually a hard problem, involving personal/social conditions. Above automatic scheduling problem is analyzed 1), solved 2), and the technique is estimated 3), as follows: 1) The system is at least equal in complexity to a large scale travelling salesman problem rounding over 500 cities. Besides, it involves about 100 complex, exceptional or sensuous conditions such as working conditions and customer satisfaction. 2) In order to overcome these difficulties, a technique called "goal intended strategic coordination inference" is developed and applied. Here, knowledge is represented as a multiple level hierarchical tree that includes nodes comprising goals and their strategies to divide/execute, adjust, and integrate. 3) The validation at representative maintenance-bases showed that the system could make efficient and satisfactory schedules with scheduling time approximately 50% less than before, including manual modification time. This proved that the developed system was useful and applied inference technique was effective.

1. はじめに

エレベーターやコンピュータの台数が年々増加し、保全(=保守,メンテナンス)技術者のスケジュールリング(割付け)が、顧客サービスと労働条件の両立

要求の中で急速に困難になっている。さて、エレベーターやエスカレーターなど昇降機の保全分野では、保全技術者をME(Maintenance Engineer)、その割付けは昇降機保全技術者割付け、またはメンテナンススケジュールと呼ぶ。従来、これは保全(すべき)現場名や作業条件を書いた磁気シートを貼り付けるスケジュール用ボードである管理ボードを用いて手作成していた。しかし、保全台数や機種が増加し、条件も複雑化したため、マウスを利用した手動型システムによ

[†] 株式会社日立ビルシステム

Hitachi Building Systems Co., Ltd.

^{††} 株式会社日立製作所システム開発研究所

Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

り管理ボードを電子化し、次いで自動化に進んだ。

ところが人員割付けは労働条件などが絡むので難しく、実際、本問は大規模かつ、労働条件に加え顧客条件など人為的・感情的な多種・多様の制約が複雑に絡むため、従来の AI 手法やシミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing: SA)¹⁾、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA)²⁾ など、適用困難と思われた。

そこで、大規模複雑問題である鉄道ダイヤ作成で実績のある協調推論方式^{3),4)}を目的戦略志向協調推論技術として汎用化し⁵⁾、これを適用して、自動化を達成し、全国で本稼働させた。代表的な営業所での検証の結果、従来の半分以下の時間で割付けを可能とし、本方式およびシステムの有効性を確認した。

以下、2章で技術課題、3章で解決方式、4章で適用システム、5章で評価を述べる。

2. 昇降機保全技術者割付けの技術課題

本問は、以下のように大規模かつ、感覚的要素も含む実用上の多種多様の条件が複雑に絡む難問である。

まず探索規模から述べる。本問は、サービス拠点の各班の ME が自班の担当 (する) 現場をメンテナンスするための毎月の巡回スケジュール作成問題である。各班が担当する昇降機は平均約 300 台あるが、半数近くは月 2 回以上メンテナンスするので、割付け対象 (となる) 現場は月平均 500 程度になる。一方、各班の ME 数は平均 5 人、勤務日数は月平均 20 日である。制約台数 (たとえば 8 台) 制約時間以下なら同一日・同一の ME に重複して割付けができる。また、規定上、2 人以上のグループ作業を必要とする現場も多い。以上から本問の探索規模を概算すると $(20 \times 5 C_2)^{500} > 500!$ 、つまり 500 都市以上の大規模な巡回セールスマン問題に匹敵する。バスの乗務員割付けは 1 日単位だが、1 路線で 1 時間 5 本、1 日 15 時間くらいなので、75 運行を 20 人に割り付ける規模、つまり $20^{75} < 70!$ となり、巡回セールスマン問題にして 70 都市以下である。すなわち、本問題は、実用化しつつあるバス乗務員割付け¹⁰⁾と比べても膨大な探索規模である。

次に、制約条件を考える。主要制約だけでも、図 1 のように、技能資格など 11 種類、70 項目以上ある。勤休 1 つとっても休日以外に、居残り、早番、夜勤、教育、会議など多くの勤務条件が絡む。特殊条件や細かい条件まで含めると膨大である。しかも人間や社会に絡む例外・特殊事項や感覚的条件が多く複雑である。たとえば、資格や勤務以外にも (1) インターバル条件: 前回作業日と 11 日以上 19 日以下の間隔をとるな

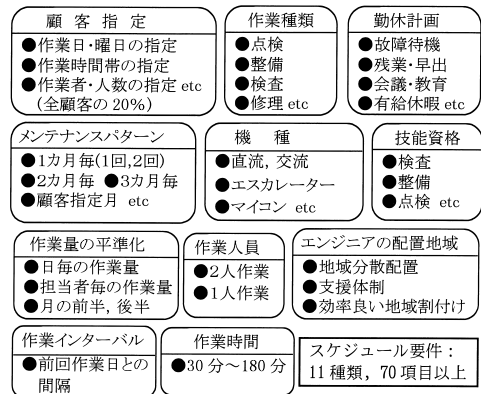


図 1 スケジュール要件 (制約・例外条件)

Fig. 1 Scheduling constraints.

どの保守間隔条件。ただし、月が変わる場合や、休日が多い特殊月は例外 (2) 地区条件: ME が効率的に巡回できる近隣または一筆書きルート上の現場群への分類方法・制約であるが、分類方法や制約の強さが、大都市密集地と地方など地域や月で異なる (3) 顧客条件: 列車やバスの乗務と違い、顧客による時間・日・曜日・人の指定がある。その他、顧客の緊急呼び出しや商品の問合せへの即応など各種目的に絡む条件や、快適な場所と敬遠される場所といった人間感情的な条件など特殊条件も多い。

本問に対し、従来手法^{1),2)}は以下の問題がある。数理計画法では、組織や地域の特殊・例外条件が複雑に絡む非線形的な要素を組み込み難い。また、数学的な最適解を求めようとしても満足解が求まり難い。計算量の爆発を起すこともある。さらに SA や GA も含め、(1) 熟練者に、推論理由・過程が分かり難く (2) 推論途中での人間の介入が困難なため感覚的条件などが処理し難い、などの問題点がある。一方、ルールベースなどの AI 手法は、専門家の知識を if-then 型のプロダクションルールで表現する。しかし知識が大量・複雑になると、ルール数が増え、その相互関係 (意味的絡みや他ルールへの影響) や階層・制御構造が分かり難くなる。これは信頼性や処理効率の大幅低下を招くので、本問のような大規模複雑探索問題をこれだけで解くのは難しい。知識獲得も問題で、多忙な専門家から必要な知識をすべて事前に聞き出すのは難しい。類似の状況に遭遇しないと出ない知識も多く、システムの開発後、現場で専門家とともに知識を獲得・修正する必要がある。さらに、自動化困難な例外的・感覚的条件の違反も、数十分程度で手修正できなければ実用にならない。

これらの課題を解決する方式を次章に示す。

3. 目的戦略志向協調推論方式

3.1 目的戦略志向協調推論方式の考え方

複雑な計画作成では、熟練者は条件反射的な if-then ルールだけを使うわけではない。まず目的を明確化し、そのより単純で協調 (= coordinate: 調整, 統合) 容易な下位目的への分割を繰り返し、達成可能な最下位目的にまで分割し達成する。その後、下位目的達成結果の評価・調整・統合による上位目的達成を繰り返し、最終的に全体の目的 (最上位目的) を達成する。下位目的の達成・調整など細部で行き詰まると、他の戦略や目的分割を考えるため、上位の思考に切り替える。上位の戦略や目的などの概念的な処理レベルと下位の手続き的な細部処理とは、知識の型も違うので、この思考の切替えがないと判断が大局性に欠け、複雑な問題は解決困難と思われる。

目的戦略志向協調推論方式は、以上の知識や思考をモデル化し、目的分割・統合用の上位宣言的知識を局所処理用の下位手続き的知識から分離した複雑大規模問題解決方式である。本方式は、鉄道ダイヤ作成などで実用化した協調推論方式^{3),4)}を発展させ汎用化したものであるが、後者の協調推論方式は分割した目的を複数のエキスパートが協調して達成する (マルチエージェント) モデルである。

一方、エレベーター巡回計画は複雑で構造も持つ問題だが、1人のエキスパートが作成する。たとえば、保守作業は指定作業とそれ以外から成るが、指定は先に割り付けるうえ、営業方針や顧客感情が絡み手動介入が不可欠である。さらに、作成時期や各種の都市や観光地など、全国数百カ所に散在するサービス拠点や班員・顧客の数・特徴などの各種条件に応じた柔軟な対応が望まれる。しかも、出張所などの低性能小型機上で多数のプログラムと共存させる必要があり、複数エージェントの管理やその実行・同期などの負荷は実用上致命的である。目的戦略志向協調推論方式は、汎用化のため下記の考え方でこれらに対応した。

- (1) 目的を簡単かつ相互の競合調整が容易な下位目的に分割し達成する方法である戦略と呼ぶ協調用知識の柔軟な記述と選択を容易にし、1人のエキスパートのモデル (単一の擬人・エージェント) でも複雑問題が解けるように、以下を工夫した。① 戦略で指定した適用条件により状況に応じた戦略選択を可能とした。② 遂行結果評価や後戻り (バックトラック) の方法を戦略で指定可能とし、指定目的への後戻りなど各種バックトラックの選択を含めた柔軟な大局的

調整を容易にした。③ 複数擬人の管理や同期処理をオプション化し、単一擬人モデルによる推論は小型低性能機でも可能とした。

- (2) 対話部を独立させ、局所調整や目的間競合の大局調整を (下位) 目的対応の手動介入により可能にした。
- (3) 推論制御部も制御自体が問題依存部を持ち問題解決知識が複雑に絡む数百のプロダクションルールで記述され、信頼性や性能面で一般化は困難であった。この絡みを解き、制御部を C 言語化し、完全に問題非依存とした。

3.2 知識表現

本方式の問題解決知識は、上位の目的戦略知識と下位の手続き型・ルール型知識などから成る (図 2)。目的戦略知識は目的とその達成用の戦略をノードとする多階層のネットワーク/トリー (目的戦略ネットと呼ぶ) として表現する。この知識は、全体の目的を、より単純で具体的な下位目的に分割することを再帰的に繰り返し、単純化された目的 (最下位目的) を達成することにより問題を解く知識である。

目的や戦略は図 3 に示すフレーム (オブジェクト) で表現され、そのスロットで属性や相互関係を記述する。戦略タイプスロットの値が展開型の分割型戦略は目的を下位目的に分割する。下位目的の達成順序は図 2 の 1 つの楕円 (戦略) にぶら下がる複数の四角 (目的) において左から、つまり図 3 (b) の戦略フレームの下位目的スロット値であるリストの前からの順である。適用可能目的スロットで戦略が適用できる目的を記述する。複数の戦略に対しこのスロット値が同じでもよいので、1 目的に対し代替戦略を複数設定できる。その選択方法は戦略フレームの優先度スロットや

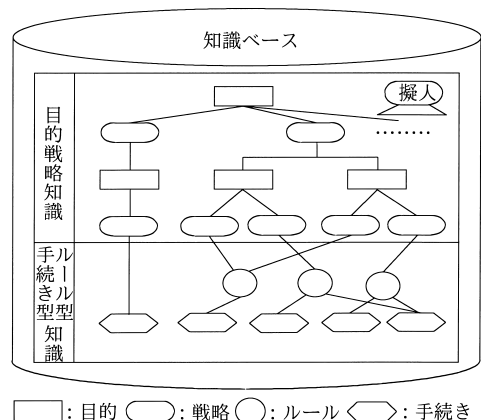


図 2 知識構造

Fig. 2 Knowledge structure.

クラス	: 目的
名称	: 目的A
達成時処理	: 続行
未達成時処理	: 中止

(a) 目的フレームの例

クラス	: 戦略
名称	: 戦略A
適用可能目的	: 目的A
戦略タイプ	: 展開型
下位目的	: {目的B, 目的C}
優先度	: 100
適用条件	: {条件B, 条件F}
結果評価手段	: 手続きK

(b) 戦略フレーム (非最下位) の例

クラス	: 戦略
名称	: 戦略B
適用可能目的	: 目的B
戦略タイプ	: 手続き型
手続き・ルール名称	: 手続きB
優先度	: 50
後戻り目的	: 目的S

(c) 戦略フレーム (最下位) の例

クラス	: 擬人
名称	: 保全技術者スケジューラ
実行目的履歴	: {目的B, 目的A}
実行戦略候補	: {戦略B, 戦略B ₁ }
実行下位知識	: 手続きB
対象月	: 5月

(d) 擬人フレームの例

図3 目的・戦略・擬人フレーム情報

Fig. 3 Goal & strategy frame data.

適用条件スロット (図3(b)) で宣言する。

下位知識である手続き型知識やルール型知識は、手続きやルールの名称と実体をパラメータ (引数) やデータ (事実・仮説) とともにオブジェクト (擬人, エージェント) 中に記述する。下位知識は最下位目的達成用のアルゴリズムやヒューリスティクスとして、あるいは目的達成結果の評価・調整や目的・戦略の表示・選択に使われる。この下位知識を用いて目的戦略ネットの最下位目的を遂行するのが実行型戦略である。この型の戦略は、図3(c)のように手続き・ルール名称スロットを持ち、遂行に必要な手続き型知識やルール型知識 (ルール群) を指定することができる。

一般に本方式では、目的遂行結果の評価・調整用知識 (図3の結果評価手段スロットや後戻り目的スロット) や、詳細は省くが、達成目的・適用戦略の表示・選択用の知識も、戦略の属性として指定できる。ただし、手続き型・ルール型知識は目的戦略ネットにより関連付けられ制御される下位知識であり、目的分割など知識構造の宣言的な記号表現は上位知識である目的戦略 (ネット) 知識でのみできる。これが目的戦略志向協調推論方式の特長の1つで、宣言的な上位知識と手続き的な下位知識の分離階層化が複雑・大規模知識の柔軟で効率的な構築・理解・変更を容易にする。これが現実の複雑大規模問題解決に有効と考える。

3.3 協調推論機構

本方式の協調推論機構は上記知識情報を解釈して推

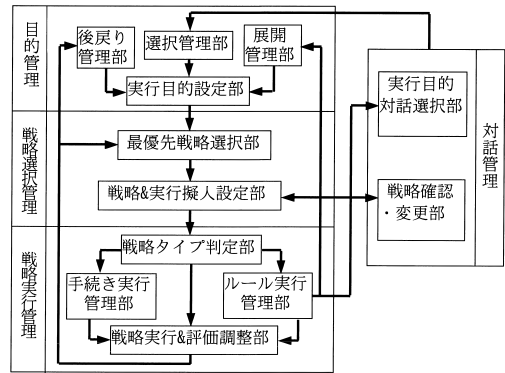


図4 目的戦略志向協調推論機構

Fig. 4 Goal intended coordination inference mechanism.

論を実行する図4の推論エンジンである。目的戦略ネットに従って目的を取り出す目的管理部, 取り出した目的の遂行用戦略を選択する戦略選択管理部, 戦略を実行し結果を評価・調整する戦略実行管理部, 目的や戦略の対話選択・変更を可能とする対話管理部の各部より成る。

目的管理部は、目的キューから次に実行すべき目的 (実行目的) を取り出す実行目的設定部と、目的を下位目的に分割し目的キューに入れ展開する展開管理部と、目的の達成失敗時に代替戦略の実行のため上位目的や指定された目的などに戻る後戻り管理部と、対話選択された目的を実行目的設定部に渡す選択管理部から成る。

戦略選択管理部は最優先戦略選択部と戦略・実行擬人設定部から成る。前者は、適用可能目的スロット値が実行目的で、しかも適用条件が擬人の対応スロット値とマッチする戦略の中で、優先度最大の戦略を選択する。後者は、選択された戦略とその実行を行う擬人を設定・管理する。

戦略実行管理部は戦略タイプ判定部と手続き実行管理部とルール実行管理部と戦略実行評価調整部から成る。戦略タイプ判定部は戦略のタイプを判定しタイプに従って戦略の実行を制御する。すなわち、タイプが分割型戦略 (非最下位) のときは目的管理の展開管理部に制御を移し下位目的への展開処理に進む。対話選択型のときは対話管理部に制御を移す。タイプが手続き型やルール型など実行型の戦略のときは手続き実行管理部やルール実行管理部に制御を移す。手続き実行管理部はタイプが手続き型の戦略に指定された手続きを実行する。ルール実行管理部はタイプがルール型の戦略に指定されたルール群を実行する。戦略実行評価調整部は戦略実行結果に対する目的達成度評価や未達成時の調整を行う。目的達成失敗時は、戦略に後戻り

先の指定がなければ、戦略選択管理部に戻り、代替戦略を取り出し実行する。後戻り先の指定があるか、すべての代替戦略で達成を失敗すれば、目的管理部内の後戻り管理部に進み、指定されたあるいは上位の目的に戻る。目的達成成功時は、次目的の実行に進む。すなわち、再び目的管理部内の実行目的設定部で次目的を、次目的がなければ上位の次目的を実行目的に設定し、その実行に進む。上位の次目的もなければさらに上位の次目的の実行に進む。以上を再帰的に繰り返し、最上位目的を達成すれば推論を終了する。

対話管理部は、実行目的対話選択部と戦略確認・変更部から成る。前者は、対話選択型の戦略のとき、次の実行目的を入力し、目的管理部内の選択管理部を介して実行目的設定部に伝える。後者は優先度などの戦略の属性表示や対話変更を行う。

以上、本方式では（下位）目的間の調整・統合を支援する目的協調機構と（下位）目的ごとの機械と人間の協調を支援する目的志向マンマシン協調機構を用意した。

前者は簡単かつ下位目的間の競合が少ないように目的分割・達成して複雑問題を解くために柔軟な戦略選択を可能とする。具体的には（1）適用条件スロットを戦略に用意し、適用条件が擬人、エージェントの状態すなわちスロット値とマッチするかを推論エンジンがチェックすることにより状況に応じた戦略選択を可能とした（2）（遂行）結果評価手段スロットと後戻り目的スロットを戦略に用意し、目的達成判断および各種後戻りなどの大局的調整方式の柔軟な選択を可能とした。

後者の目的志向マンマシン協調機構は、上記の対話管理部により実現される。これにより、人間が（下位）目的ごとに目的志向で介入変更し、局所修正や（下位）目的間の競合調整ができる。

4. 昇降機保全技術者割付けシステムの構築

本技術を適用した ME 割付けシステムについて述べる。

4.1 システムの全体構成

本システムは、各拠点のワークステーション上に構築した。割付け対象となる翌月の保全対象現場は中央のホストコンピュータから伝送される。マウスによる割付けや制約違反チェックなどの手動機能も持つ。

本システムは図5のように、現場情報記憶部、個人情報記憶部、スケジュール情報記憶部、割付け処理の中心となる制御部と入出力部からなる。現場情報記憶部は保全対象現場や顧客の情報を記憶する。個人情報

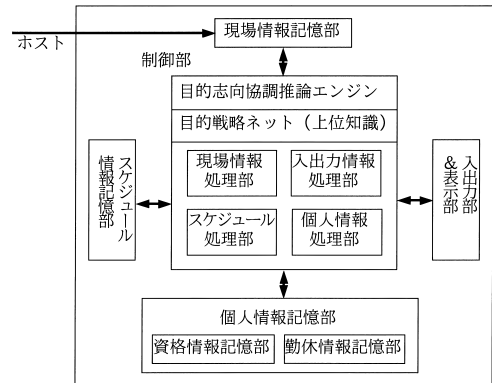


図5 昇降機保全技術者割付けシステム

Fig. 5 Elevator engineer scheduling system.

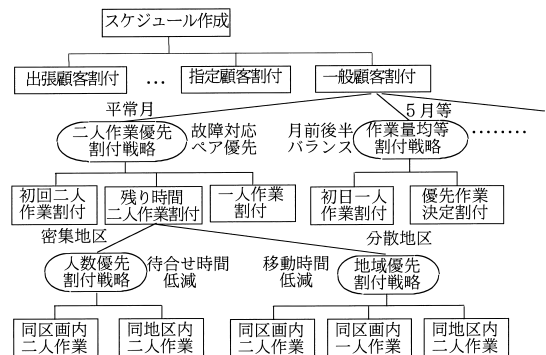


図6 昇降機保全巡回計画作成知識（目的戦略ネット）

Fig. 6 Elevator engineer scheduling knowledge.

記憶部は ME の技能資格や勤休情報などを記憶する。スケジュール情報記憶部は、ME の巡回スケジュールを班ごとに記憶する。制御部は目的志向協調推論エンジン、目的戦略ネット、下位手続き群から成る。下位手続き群はスケジュール処理部とそれ以外、つまり現場/個人/入出力情報などの処理部から成る。スケジュール処理部は手動作成手続き部と自動作成手続き部から成る。制御部では目的志向協調推論エンジンが目的戦略ネットに従って各処理部の手続きの実行を制御し、各目的を達成・調整して割付けを行い、巡回スケジュールを作成する。

4.2 昇降機保全技術者割付け知識

本推論技術適用のため、専門家からヒアリングを行い、ME の（メンテナンス）スケジュール作成という最上位目的の達成用知識を目的戦略ネットで表現した。図6は本システムを全国に導入後も専門家からの知識獲得を継続して行い、専門家とともに知識を追加・修正した結果の一部である。構築した知識の規模は、導入後2年で、目的戦略フレームが約210（導入時約

120), ルールや手続きのライブラリがC言語で約70(導入時約15)キロステップ相当である。

図6に従い知識の詳細を説明する。まず, 最上位目的(スケジュール作成)は, 出張顧客割付け, 指定顧客割付け, 一般顧客割付け, その他の下位目的に分割される。これらはさらに単純な下位目的に分割されるが, 分割方法は複数あるので, 1つの目的に対して複数の代替戦略を設定できる。図6では一般顧客割付けは2人作業優先割付け戦略, 作業量均等割付け戦略, その他で達成が可能である。2人作業優先割付け戦略は, 故障修理(2人ペアでの作業が不可欠)のための緊急呼び出しに即応できるよう2人作業優先で毎日1組以上割り付ける。この戦略は, 初回2人作業割付けと残り時間2人作業割付けと1人作業割付けの3つの下位目的に分割する。一方, 作業量均等割付け戦略は, 5月のように月前半に休日が偏っているときは故障時の即応は諦め, 月前半に多くの現場を回れるように1人作業現場を先に割り付け, 月前半と後半のバランスを優先して割り付ける。この戦略は前記戦略とは違い, 初日1人作業割付けと優先作業決定割付けへの目的分割を行う。下位目的の分割は再帰的で, 上記の残り時間2人作業割付けは一般顧客割付けという下位目的の下位目的であるが, これがさらに分割される。すなわち, 人数優先割付け戦略では同区画内2人作業と同地区内2人作業に, 地域優先割付け戦略では同区画内2人作業と同区画内1人作業と同地区内2人作業の3つの下位目的に分割される。さて一般に, 大都市ビル街のような密集地区と違い, 地方などでビルが分散している地域では区画(ブロック: 街区)が違えば, 移動に数十分~1時間以上かかる。一方, 2人作業と1人作業を混合して割り付けると作業時間が違うと2人作業現場では相棒が来るのを数十分以上待つことも多い。そこで密集地区では2人作業現場を優先して割り付ける人数優先割付け戦略が, 分散地域では, 移動時間低減のため, 同区画内作業を優先して割り付ける地域優先割付け戦略が必要となる。こうして最下位目的に達すると, その遂行用戦略には手続き型知識やルール型知識の名称が指定されており, これらを用いて最下位目的が直接遂行される。すべての下位目的の遂行が完了するとそれらの上位目的に戻り, 調整・統合を行う。これを繰り返し最上位目的(スケジュール作成)を達成すると割付けが完了する。

さて戦略の選択や実行順に関して, 一般顧客割付け目的の各戦略例では, 平常月や5月などの選択条件が(実際は戦略の属性値として, 図6では戦略を示す楕円の上に)指定されているので, 5月などの特殊月は

評価情報表示		20(月)	21(火)	22(水)
保全 間隔	平均ずれ日数	山田 平岸ビル1号機 平岸ビル2号機	伏見ビル1号機 旭山ビル1号機	八デパート1号機 八デパート2号機
	1.9日	澁川ビル1号機 西岡ビル1号機	円山ビル1号機 円山ビル2号機	八デパート3号機 八デパート4号機
	総ずれ件数 7件			八デパート5号機
残業 時間 平準 化	平均残業時間	代休	自動割付け顧客選択処理	
	11.1時間		全顧客割付け	
	最長残業者 山田 一郎		出張現場割付け	
			指定顧客割付け	
		一般顧客割付け		
	14.3時間	鈴木 三郎	石山ビル1号機 石山ビル2号機 藻岩ビル1号機 藻岩ビル2号機 川沿ビル1号機	薄野ビル1号機 薄野ビル2号機 中島ビル1号機 山鼻ビル1号機
最小残業者 鈴木 三郎	8.6時間			八デパート1号機 八デパート2号機 八デパート3号機 八デパート4号機 八デパート5号機

図7 自動型割付け実行結果例
Fig. 7 Elevator engineer scheduling result.

作業量均等割付け戦略, 平常月は2人作業優先割付け戦略により, 目的達成が試みられる。達成失敗時は(選択条件があればこれを満たす)他の戦略が, 優先度の高い(図の左から右)順に試みられる。

また, 最上位目的の達成用戦略を対話選択型とし, 全自動割付け以外に, 最上位目的の各下位目的をメニューに表示(図7中央), 対話選択により逐次達成可能とした。これにより, 感覚的条件など論理や数式で評価困難な部分を目的ごとにユーザが評価し, 修正できる対話協調型の自動割付けをも可能とした。さて, 機械が人間の意図をつねに推論できる保証はないので, ユーザによる手作業での内容は, システムには変更不可能とした。ただし, アクセスデモンによる矛盾検出知識の自動起動やユーザのコマンドメニュー押下による手動起動により自動的に制約条件違反などの矛盾検出が行われる。もちろん, 矛盾した割付けなどを手動で解除すれば, 制約条件に矛盾しない割付け案や代替案を自動作成できる。

4.3 出力結果

導入後の自動割付け結果の代表例を図7に示す。自動割付け時間は10メガヘルツ程度のマシンサイクルの計算機で数分程度であった。横に日, 縦にME名, 縦横に囲まれた柵目には割り付けられた保全担当現場名, 左端には, インターバル(前回作業との保全間隔)や残業時間などの評価情報を表示する。従来の管理ボード方式による手作成結果と比較すると, 本例で, 顧客最重要要求の1つのインターバルは, 許容範囲(月2回の作業なら11~19日)外の作業件数つまり総ずれ件数が作業総数412件中7件(従来約20件), 許容範囲からの平均ずれ日数が1.9日(従来3~4日)と改善が著しい。保全技術者の残業時間平準化を示す最長/最短残業者の合計残業時間差も, 5.7時間と従来(10時間以上)の半分程度である。

表 1 メンテナンススケジュール作成時間の対比

Table 1 Generation time comparison of maintenance schedule.

1班当たり業務別低減率(従来方式を100とした場合)

No.	業務内容	従来方式	新方式	新手段
1	割付対象現場の設定	4.2	-	自動
2	勤休情報の設定	4.2	2.5	手動
3	現場の作業内容調整	8.3	5.8	手動
4	検査・外注作業の割付	12.5	8.3	手動
5	自動割付対象の割付	37.5	17.0	自動+手調整
6	保全間隔等の評価, 全般的問題点の調整	8.3	4.2	自動+手調整
7	作業進捗状況把握	25.0	4.2	自動
	合計時間比	100.0	42.0	

注) 従来方式: 管理ボード方式, 新方式: 提案方式

5. 評価

5.1 適用結果

現地導入・調整,そして目的戦略ネットへの段階的な知識追加後,代表的な営業所数箇所で現地評価を行い,表1(新方式は検査など一部作業を除く自動方式)の結果と以下の導入効果を得た(1)制約条件違反のため自動では割付け不能であった現場は平均1%(数現場),たかだか3%程度で,自動後の手動割付けで容易に割り付いた.割付け結果の手動調整も2時間未満で完了した(2)従来の管理ボード方式に比べ50%以下の時間(表1の合計時間比参照)で済んだ.全国200のサービス拠点で実用化し,全国合計で月2000時間以上の作成時間低減効果を得た(3)入社10年近いベテランを必要としたものが,本自動割付けにより,保全間隔や残業時間のばらつきが少なく(図7),顧客サービスと労働条件の両立した高品質の計画が入社3年程度の若手でも作成可能となった.

5.2 目的戦略志向協調推論方式の有効性

本方式の効果を以下に,他との比較を次節に述べる.

(1) 本方式では図2,3,6に示すように,各目的やその分割・達成のための代替戦略などの上位知識は目的戦略ネットにより下位知識と分離して記述できる.したがって,柔軟性・可読性の低い手続き型のプログラムや絡み合ったルールを修正する従来方式と違い,知識の理解・修正が容易となった.つまり,エキスパートとともに目的・戦略レベルの上位ノウハウを修正し,結果を評価することの繰返しにより,現地調整時にも,知識獲得・改良ができた.これにより,地域・営業所・班ごとの割付けノウハウの違いを調整でき,2章の知識獲得の課題が解決した.このように,本技術は現場で組織・地域ごとの目的・制約を反映した知識の獲得・改良が必要な多くのAIシステムへ適用できる.また,時代の変化への対応のための知識保

```

if 目的が “残り時間2人作業割付” かつ
   状況が “2人作業優先割付状況” かつ
   実行済ステップが “初回2人作業割付” かつ
   実行結果が “OK” かつ
   対象地区が “密集地区” かつ
   試行回数が “0” かつ
   実行モードが正常モード
then 同区画内2人作業割付を実行し
     結果を“(同区画内2人作業割付)実行結果”に入れ
     状況を“平常月密集地区実行状況”とし
     実行済ステップを“同区画内2人作業割付”
     とする。)

```

(注) 協調推論では下位目的も含めて下線部分だけの記述で良い

(a) プロダクションルールのみ使用時の正常処理知識記述量

```

クラス:目的
名称:残り時間2人作業割付
レベル:独立
.....

クラス:戦略
名称:人数優先割付戦略
適用可能目的:残り時間2人作業割付
下位目的: {同区画内2人作業割付, 同地区内2人作業割付}
適用条件: {対象地区=密集地区}
調整方式: {nk2pNyWriRfn, nk2pNyWriCyo}
調整条件: {sp, ng}

```

(b) 協調推論モデル使用時の知識記述量

図8 スケジュール作成知識記述量の比較

Fig. 8 Comparison of scheduling knowledge description.

守も容易にする.

(2) 本協調推論方式の対話推論機構を用い,図7中央のメニューを表示し,ユーザが下位目的ごとに自動割付けを実行し結果を確認・修正できるようにした.これにより,手戻りが少なく実用にこぎつけた.実際,本問題は,サービスカーの共用,出張,人・日時の指定など,意図・目的の絡む感覚的条件が多く,目的対応に人間が介入できないと使えない場合が多かった.

(3) 下位の手続き型知識もメソッドと呼ぶローカライズされた関数であるため,下位知識の追加・修正が高信頼かつ容易にできた.

(4) プロダクションルールを用い,分割・協調型知識を記述し,記述量を行数で測定した.その結果,本手法に比べ,正常処理だけで10倍以上(図8),局所的調整処理を含めると20倍以上,各種バックトラックなど大局的調整処理まで入れると100倍以上であった.したがって,分割・協調型知識の記述に関しては本手法により,開発・保守工数が1~2桁削減可能である.

5.3 他の技術との比較

(1) 本問の複雑・多数の目的や例外・特殊条件を,数理計画法では,線形の数式で表現するが,本方式では,目的戦略ネットにより記号的・離散的に表現する.したがって,難しい重みの微調整などを行わず,記号表現を用いて目的を絞り込み,満足解を得ることがで

きた。

(2) 本問題は探索空間が膨大なうえ、制約条件も多様なため、SA¹⁾やGA^{2),10)}のように探索にランダム性を入れても対話応答時間(たかだか1分程度)内で満足解は保証し難い。本方式では、上位知識を目的戦略ネットで表現し、目的分割とノウハウ組込みを行って、探索空間を絞り、満足解を得た。ただし、ランダム性を入れて最適度を改善する方式との融合も今後期待される。

(3) 本方式は、ルールベースシステムのようにフラットでなく、目的戦略ネットと呼ぶ多階層の知識表現方式をとる。したがって、複雑膨大な知識の整理・検証が容易になった。上位知識に関して、現場の専門家が知識を検証したり変更を提案できるようになった。

(4) ブラックボード(黒板)と呼ぶ共通領域を用いて知識間の協調をとるブラックボード推論方式⁶⁾がある。これは、各知識ソース(知識群)が黒板に書き込んだデータにマッチしたルールが実行され、これが起動した知識群が黒板にデータを書き込むことの繰返しで推論を進める。この繰返しのため、非常に柔軟な推論が行えるが、大規模複雑化すると、黒板上のデータと実行ルールと知識モジュールの動作の絡みが予測困難で、検証も容易でない。本提案の協調推論方式は、代替戦略による後戻りは目的戦略ネットに沿って明示的に行うが、共通領域である黒板を介した追跡困難な繰返しは行わない。したがって、柔軟度は制約されるが推論過程が理解しやすく、複雑大規模な知識処理には、柔軟性と信頼性のバランスがとれた方式と考える。

(5) マルチエージェント(複数擬人)が交信しながら問題を解決する分散協調推論方式⁷⁾(筆者らの従来の協調推論方式^{3),4)}も含む)と異なり、目的戦略志向協調推論では必ずしも分散は考えないし、単一の擬人でもよい。すなわち、目的とその再帰分割・統合戦略として知識を多階層表現し、目的志向での探索空間の絞り込みと柔軟な戦略選択により目的の分割と調整・統合(=協調)を図り、複雑問題を解決する。本システムのように1人のエキスパートが計画を作成する場合、マルチエージェントモデルより、本手法の方がモデル化容易である。この場合、複数のCPUやスレッド(プロセス)やその間の同期処理も不要なため、ソフト・ハードがシンプルになる。

(6) 制約指向AI技術やメタヒューリスティクスを用いて時間割表作成問題を解いた研究事例^{8),9)}もある。しかし、この種のスケジューリング問題は顧客の特殊性、階層性などが少なく構造が比較的単純なため、フラットに羅列した論理式あるいは数式を制約や目標

とした数学的な(近似)最適解探索が可能である。一方、エレベーター巡回計画問題は、構造が複雑で木目細かい配慮のためのノウハウが各レベルで多数必要となる。このような複雑で多階層構造を持つ知識の記述や処理には本手法が不可欠と考える。しかも、各レベルで人間の介入が必要であるが、現場ユーザには上記の数学的最適化過程は理解し難く介入・修正が容易でない。また、人間の介入意図は計算機には推論できない。このため、各レベルでの人間の介入結果を次のレベル以下の制約条件としてローカルに問題を解き、これらの解を矛盾・競合のないように調整統合する本目的志向協調方式が不可欠と考える。

6. おわりに

- (1) 昇降機保全技術者割付けは、500都市以上の大規模巡回セールスマン問題に匹敵するうえ、主要制約だけでも100近い複雑・例外的・感覚的な条件を持つ難問である。
- (2) 目的とその再帰分割・達成戦略により知識を多階層構造化して表現し推論する目的戦略志向協調推論方式を開発、ツール化した。
- (3) これを適用して上記割付けを自動化し、実稼働させた。代表的な営業所で現地検証した結果、従来の半分以下の時間で割付けが可能となり、適用方式の有効性とシステムの実用性を確認できた。

参考文献

- 1) 喜多：Hopfield型ニューラルネットワークとシミュレーテッドアニーリング，人工知能学会誌，Vol.7, No.6, pp.970-979 (1992).
- 2) 波田野：遺伝的アルゴリズム，人工知能学会誌，Vol.8, No.3, pp.312-319 (1993).
- 3) 鶴田ほか：協調推論型知識情報処理の一方式，情報処理学会論文誌，Vol.30, No.4, pp.427-438 (1989).
- 4) 鶴田ほか：知識工学応用列車ダイヤ作成支援システムの開発，SICE'89, JSS3-13, pp.847-850 (1989).
- 5) 鶴田ほか：目的戦略志向協調推論技術の開発とエレベーター保全員巡回問題への適用，第43回情報処理学会全国大会論文集，pp.2-87 (1991).
- 6) H-Roth, B.: A blackboard architecture for control, *Artif. Intell.*, No.26, pp.251-321 (1985).
- 7) Durfee, E.H.: The Distributed Artificial Intelligence Melting pot, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.21, No.6, pp.1301-1306 (1991).
- 8) 吉川ほか：学校時間割自動編成システムの開発

と評価, 1995 年度人工知能学会全国大会(第 9 回)論文集, 17-15, pp.487-490 (1995).

- 9) Schaerf, A.: Local Search Techniques for Large High School Timetabling Problems, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems And Humans*, Vol.29, No.4, pp.368-377 (July 1999).
- 10) 仙石ほか: GA によるヒューリスティック探索の最適化—バス仕業ダイヤの作成, 数理モデル化と問題解決研究会報告, 95-MPS-2, Vol.95, No.45, 情報処理学会 (1995).

(平成 11 年 6 月 8 日受付)

(平成 12 年 2 月 4 日採録)



本間 正喜 (正会員)

1983 年室蘭工業大学工学部開発工学科卒業. 1985 年同大学大学院工学研究科開発工学専攻修士課程修了. 同年(株)日立エレベータサービス〔現在は社名変更し(株)日立ビルシステム〕入社. ビル遠隔監視システム, エレベーターの保全用スケジューリングシステム, 携帯コンピュータによる保全業務支援システムの開発を担当. 現在, 昇降機を中心としたロジスティクスシステムの研究・開発に従事.



中村 晴久

1975 年鳥取大学工学部電子工学科卒業. 同年(株)日立エレベータサービス〔現在は社名変更し(株)日立ビルシステム〕入社. 昇降機・ビル遠隔監視システム, 同センタシステム設計業務を担当. 現在, 保全用携帯端末を中心とした昇降機・冷熱保全業務トータルシステムの研究・開発に従事.



中野 明男

1974 年東京理科大学工学部電気工学科卒業. 同年(株)日立エレベータサービス〔現在は社名変更し(株)日立ビルシステム〕入社. 昇降機の保全業務に関するシステム設計業務を担当. 現在, 昇降機のほか, ビル設備, 冷熱設備も含め, “徹底した保全業務の革新”をねらいとし携帯コンピュータを活用した保全作業の計画から指示, 実行, フォローまでの第三次システム(C/S 対応システムから Web 対応システム)を開発推進中.



鶴田 節夫 (正会員)

1947 年生. 1971 年 3 月早稲田大学工学部電気通信学科卒業. 1973 年 3 月名古屋大学大学院電気・電子・電気第 2 工学研究科修士課程修了. 工学博士. 同年 4 月(株)日立製作所システム開発研究所入社. 現在, 指令・管制システム等を対象に知識情報処理の研究に従事. 電気学会, 電子情報通信学会, ACM, IEEE 各会員.