

目的戦略志向協調推論向け知識構築支援方式とその評価

石田 秀昭[†] 西島 英児[†] 鶴田 節夫[†]
本間 正喜^{††} 中野 明男^{††}

AI技術のサービス産業への応用として、列車運行や車両・乗務員の運用、エレベータなどの保全技術者巡回計画などのスケジューリングを適用対象とする目的戦略志向協調推論技術における知識構築支援方式を開発し、その有用性を確認した。本推論技術では、全体の目的をより具体的な下位目的に分割し、各目的に対する戦略と実現方式を階層的に展開できる知識構造（目的戦略ネットと呼ぶ）をとっているため、人間の思考過程にマッチした情報収集が可能で、熟練した計画担当者の経験やノウハウを推論実行に必要な知識として反映しやすいという特徴がある。そこで、目的戦略ネットを操作画面上にグラフィック表示し、ビジュアルな操作が可能となる知識構築支援環境を実現し、知識の構築および改善の効率化を図れるようにした。本論文では、この知識構築支援ツールのコンセプトおよび実現方式について述べるとともに、エレベータの保全技術者巡回計画作成システムへの適用結果およびその評価を通して、本ツールの有効性を示す。

The Supporting Method of Knowledge Building for Teleological Coordinative Inference Technology, and Its Evaluation

HIDEAKI ISHIDA,[†] EIJI NISHIJIMA,[†] SETSUO TSURUTA,[†]
MASAKI HONMA^{††} and AKIO NAKANO^{††}

Aiming to apply AI-technology for service industry (e.g., scheduling for train regulation and traveling of machine service engineers), we have developed teleological coordinative inference technology and the support tool for knowledge building. The feature of this technology is to make it easier to build the knowledge data for inference based on the experience and the knowledge which skilled planners have. And then by means of using the support tool for knowledge building, users are able to build and improve visually the knowledge data for inference. In this paper, we describe the architecture of this inference technology and the support tool, and evaluate the effectiveness of this tool through applying them to the traveling schedule generation system of elevator service engineers.

1. はじめに

コンピュータの高性能化・高信頼化にともない、より高度なエキスパートシステム実現への期待がますます高まってきている。その一分野として、サービス産業におけるスケジューリング問題へのAI技術の適用があげられ、報告者らは、目的戦略志向協調推論技術を提案し、列車運行スケジュールや乗務員・車両の運用計画作成、エレベータなどの保全技術者巡回計画作成などへ適用を行ってきた^{1)~4)}。これらの複雑・大規模システムの運用計画問題にAI技術を適用するには、従来人手で行われていた際の熟練者の持つ複雑・多様

な経験やノウハウ、勘などを、知識情報として、いかにうまくシステムに反映できるかがポイントとなる。また、スケジューリング結果に対する専門家の評価をもとに、いかに効率良くかつ忠実に知識情報を改善できるかが鍵となる。スケジューリング問題における知識獲得および改善については、今まで、種々報告がなされてきた^{5)~7)}。

本稿では、目的戦略志向協調推論技術を上記のようなスケジューリング分野へ適用した場合の知識構築・改善上の問題点に触れ、これを解決するために有効な知識構築支援方式について述べるとともに、本方式に基づくツールをエレベータの保全技術者巡回計画作成システムへ実用化した結果を通して、本方式の有効性について評価を行う。

[†] 株式会社日立製作所システム開発研究所
Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

^{††} 株式会社日立ビルシステムサービス
Hitachi Building Systems & Service Engineering Ltd.

2. 目的戦略志向協調推論技術と知識構築上の課題

2.1 目的戦略志向協調推論技術の概要

2.1.1 本推論技術の位置づけ

交通機関や保守産業などのサービス産業は社会の変化とともにサービス内容も複雑化してきている。たとえば、列車運行スケジュールや乗務員・車両の運用計画、エレベータやコンピュータなどの保全技術者巡回計画などにおいても、その精度向上への期待の高まりとともに、組合せ量や制約条件は増加方向にあり、人手のみによる計画作成はますます非効率になると予想される。このため、このようなスケジューリング問題に対して数理工学的方法やAI的手法によるアプローチが試みられてきた^{8)~12)}。数理工学的方法は、数学的な最適解を求めようとするため、爆発的な組合せ量の増大を回避できず、実用的な時間内に解が求まりにくい。また、ルールベースなどのAI的手法は、最適解ではなく準最適解を求めるものであるが、ルールなどの記述量が多くなると記述内容の相互関係や構造が分かりにくくなり、知識情報としての信頼性が低下するため、実用レベルの規模と複雑さを持つ問題には、まだ適用が難しい段階であると考えられる。

一方、従来の人手による計画作成においては、熟練者は複雑・大規模な問題を解決するために、対象となる目的を複雑な目的から、より単純な下位の目的へ分

割を繰り返すことにより、達成容易な最下位目的を見つけ、その後、最下位目的の達成を独立して試みながら、達成結果の統合により上位の目的の達成へと進み、最終的に全体の目的を達成している。達成結果の統合においては下位目的間の協調をとるための評価や調整をとらなければならない。

目的戦略志向協調推論技術は、このような熟練者の思考過程に基づいたものである。対象の階層化表現については、文献13)などで述べられているが、本技術は、対象の目的と、目的達成に必要な熟練者の持つ戦略知識を、以下に述べる階層的な知識構造で表現し、この知識情報を利用して目的達成のための推論を行えるようにしたものである。

2.1.2 知識構造

知識構造は、図1に示すように主に目的戦略知識と手続き型・ルール型知識から成る。目的戦略知識(以下、目的戦略ネットと呼ぶ)は、全体の目的を、より具体的な複数の下位目的に分割し、それぞれの目的を達成するための各戦略と対応づけて階層的に記述したもので、各目的に対する戦略としては、優先順位などの属性を持った複数の代替戦略を設定できる。各目的や戦略の相互関係や属性内容は図2に示す目的・戦略フレーム情報によって記述できる。手続き型・ルール型知識は、目的の達成および結果の評価・調整をす

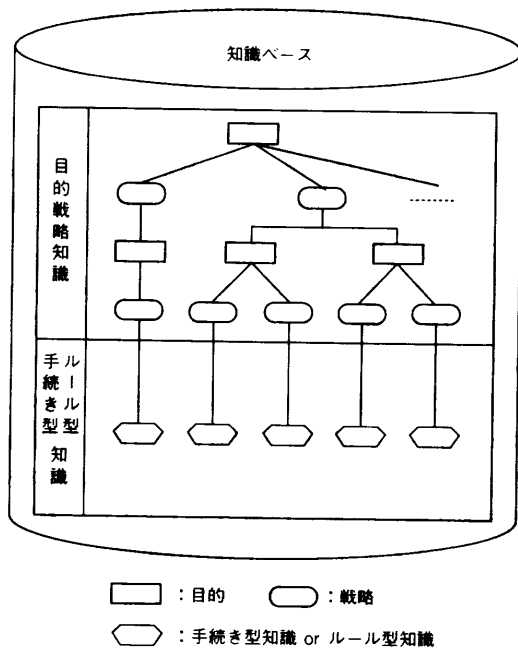
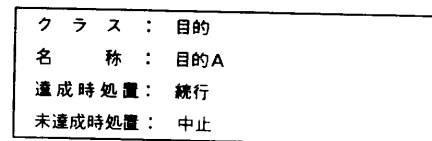
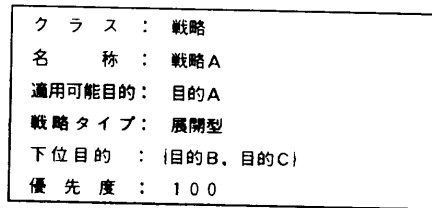


図1 知識構造

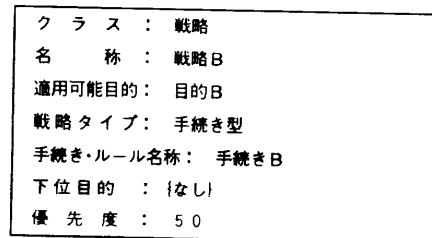
Fig.1 Structure knowledge base.



(a) 目的フレームの例



(b) 戦略フレーム(非最下位)の例



(c) 戦略フレーム(最下位)の例

図2 目的・戦略フレーム情報

Fig.2 Goal & strategy frame data.

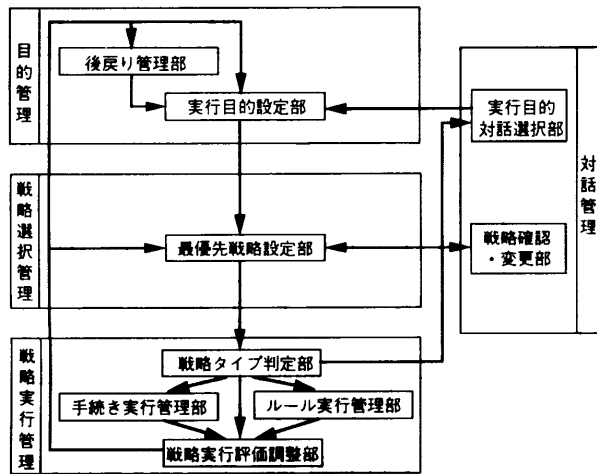


図3 目的戦略志向協調推論機構

Fig. 3 Architecture of teleological coordinative inference.

るための手続きやルールを記述したもので、目的戦略ネットの最下位戦略は図2(c)のフレーム情報中の手続き・ルール名称によって特定の手続き型・ルール型知識に関連づけることができる。また、すべての戦略は、目的に対する達成結果を評価・調整するための手続き型・ルール型知識に関連づけることも可能である。

2.1.3 推論機構

図1の知識構造に基づく知識情報を解釈して推論を実行するための機構は、図3に示すように目的管理、戦略選択管理、戦略実行管理より成り、また、オペレータが対話的に目的の選択や戦略の変更を行うための対話管理も設けている。目的管理は目的戦略ネットに基づいて実行すべき目的を取出す実行目的設定部と、目的達成においていずれの戦略を用いても達成できなかった場合に上位目的に復帰して再調整するための後戻り管理部から成る。戦略選択管理は選択可能な優先度最大の戦略の設定を行う最優先戦略設定部から成り、戦略実行管理は戦略のタイプを判定する戦略タイプ判定部と手続き型戦略に対する手続き実行管理部、ルール型戦略に対するルール実行管理部、手続きやルールによる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戦略実行評価調整部から成る。

2.2 適用結果

以上の目的戦略志向協調推論方式をワークステーションおよびパーソナル・コンピュータ上に実現し、列車運行スケジュールや乗務員・車両の運用計画、エレベータなどの保全技術者巡回計画などのシステムに適用し、次のような結果が得られた。

(1) 複雑大規模な対象を、達成すべき上位目的から下位目的へ分割し、それぞれの目的を達成するための具体的戦略を対応づけられるため、熟練者の思考過

程に沿った対象の分析を行うことができ、熟練者の持つ経験や勘、ノウハウなどを引き出して推論実行のための知識を構築できることを確認できた。

(2) 知識表現が階層的であるため、設定した知識の整理・確認の効率が向上し、考え落しや記述ミスを発見しやすくなるとともに、各目的に対する複数の代替戦略の記述も可能であるため、優先順位などの変更による目的達成のための調整が容易となった。

2.3 知識構築上の課題

一方、この目的戦略志向知識表現をさらに有効活用し、実用化のレベル向上および適用範囲の拡大を図るために次のような問題点があげられる。

(1) 推論結果の精度向上および対象システムにおける状況の急速な変化に対応するためには、設定されている知識内容の現状把握が容易で、矛盾点や不足箇所に対する修正ミスの起こりにくい操作環境が要求される。しかし、目的戦略ネットの実際の知識表現は図2に示すような各フレーム単位による記述であるため、図1に模式的に示したような目的・戦略間の関連が直感的に把握しづらく、知識に対する更なる操作性向上が望まれた。

(2) 適用分野が同じでも、規模の違いや地域格差により、知識内容の取捨選別や新しく得られた情報に基づく補正・補充が必要である。また、適用範囲を拡大するためには実績ある知識情報をベースに、適用対象ごとの環境に習熟した専門家の知識を取り込み、適用対象に特化した知識構築が容易に行えるための開発環境の提供が重要となる。

3. 知識構築支援方式

本章では、目的戦略志向知識の構築に対する上記のような課題に対処するために開発した知識構築支援方式の概要について述べる。

3.1 知識構築支援方式

以下に、知識構築支援方式の開発方針を示す。

(1) 目的戦略志向協調推論実行に必要な知識をビジュアルに操作できる環境を提供することとし、目的戦略ネットに対する直接的な操作、および、目的・戦略フレーム情報や手続き型・ルール型知識などの関連情報に対する連携操作を可能とする。

(2) 対象システムの大規模・複雑化にともなう知識情報の増大により、目的戦略ネット全体、または、密接に関連する情報の同一画面への同時表示には限度がある。このため知識情報の量や操作目的などの状況に応じた表示形態の選択により、操作効率の向上が図れるようにする。

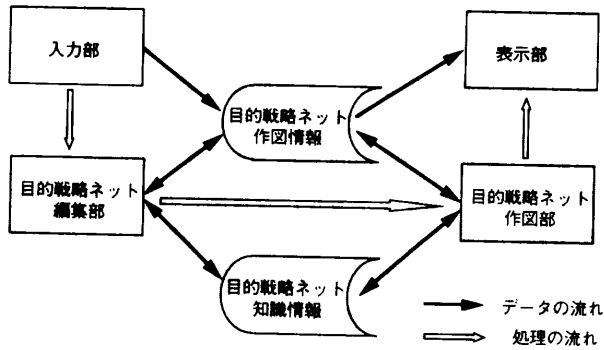


図4 知識構築支援ツールのソフトウェア構成

Fig. 4 Software architecture of the support tool for knowledge building.

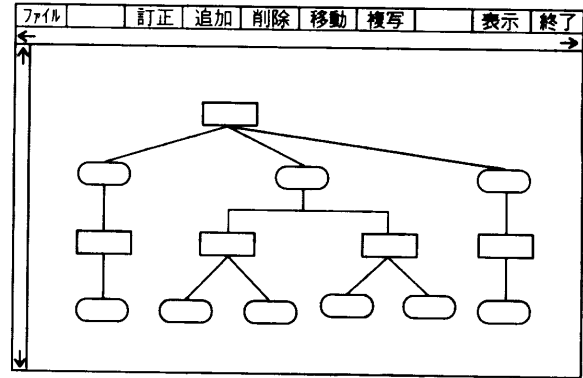
(3) 適用対象の類似したシステム間での共通知識の相互活用, および, 類似知識構築の容易化を図るため, 複数の目的戦略ネット間にまたがった操作を可能とする.

3.2 知識構築支援ツールの概要

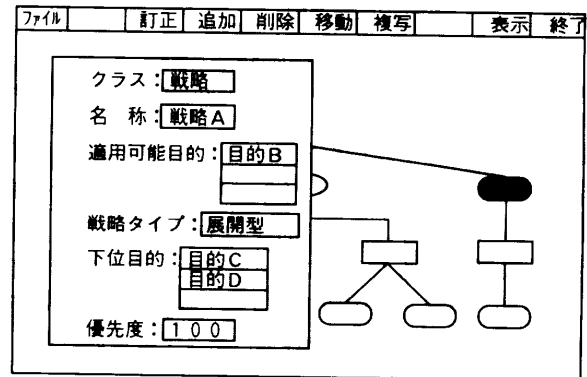
3.2.1 ソフトウェア構成

本ツールは, ワークステーションおよびパーソナル・コンピュータ上で稼働し, ソフトウェア構成は図4に示すように, 目的戦略ネット編集部と目的戦略ネット作図部, および, 入力部と表示部から成る.

主表示画面は, 図5(a)に示すように, 画面中央部が目的戦略ネットの表示領域, 最上部がメニュー表示領域, 左端・上部がスクロールバーの表示領域から成る. 最上部のメニュー表示領域には, 目的戦略知識の取出し先や格納先を指定するための「ファイル」, 編集のための「訂正」「追加」「削除」「移動」「複写」, 表示の大きさの拡大・縮小や表示形態を指定するための「表示」, 編集結果を保存して終了する「終了」の各メニューがある. 利用者が「ファイル」メニューを選択してファイル名を指定することにより, 入力部から目的戦略ネット編集部を経由して, 図2の目的・戦略フレームの各情報から成る目的戦略ネット知識情報が取出される. 次に, 目的戦略ネット作図部により目的戦略ネットを二次元的に表示するための目的戦略ネット作図情報が作成され, 表示部により図5(a)に示す目的戦略ネットが表示される. 利用者がメニュー選択により編集操作を行うと入力部から目的戦略ネット編集部へ操作内容が伝えられ, 目的戦略ネット作図情報が変更されるとともに, 目的戦略ネット作図部が目的戦略ネット作図情報をもとに作図をし直し, 表示部により編集結果が表示される. 編集終了時またはファイル格納時においては, 目的戦略ネット編集部が目的戦略ネット作図情報に基づき目的戦略ネット知識情報を生



(a) 主表示画面



(b) フレーム情報表示画面

図5 表示画面構成

Fig. 5 Screen for the goal-strategy net.

成し, ファイルへ格納する.

3.2.2 操作概要

以下に, 目的戦略ネットに対する編集操作について述べる. 基本的な操作は, 主にマウスを用いた目的や戦略などの編集対象の指定とメニューの選択である. 図6に示すように「追加」「削除」「移動」「複写」の各メニューを選択し, 編集対象となる目的や戦略, および移動先や複写先の位置を指定することによって, 利用者は目的戦略ネットの階層的構造のイメージのまま, 知識情報を変更することが可能となる. また, 図6の各操作において編集対象となった目的や戦略に関する目的・戦略フレーム情報(図2)の変更も自動的に行われる. 目的・戦略フレーム情報の個々の値を直接, 変更する場合には, 利用者が対象となる目的または戦略を目的戦略ネット上で指定した後, 「訂正」メニューを選択することによって, 図5(b)に示すようなフレーム情報の内容が表示され, 変更する項目を選択することにより直接入力による編集が可能となる. また, 複数の目的戦略ネットの同時表示や, 異なった目的戦略ネット間における目的や戦略の複写・移動も可能であり, これによって, 類似システムにおける目的戦略知

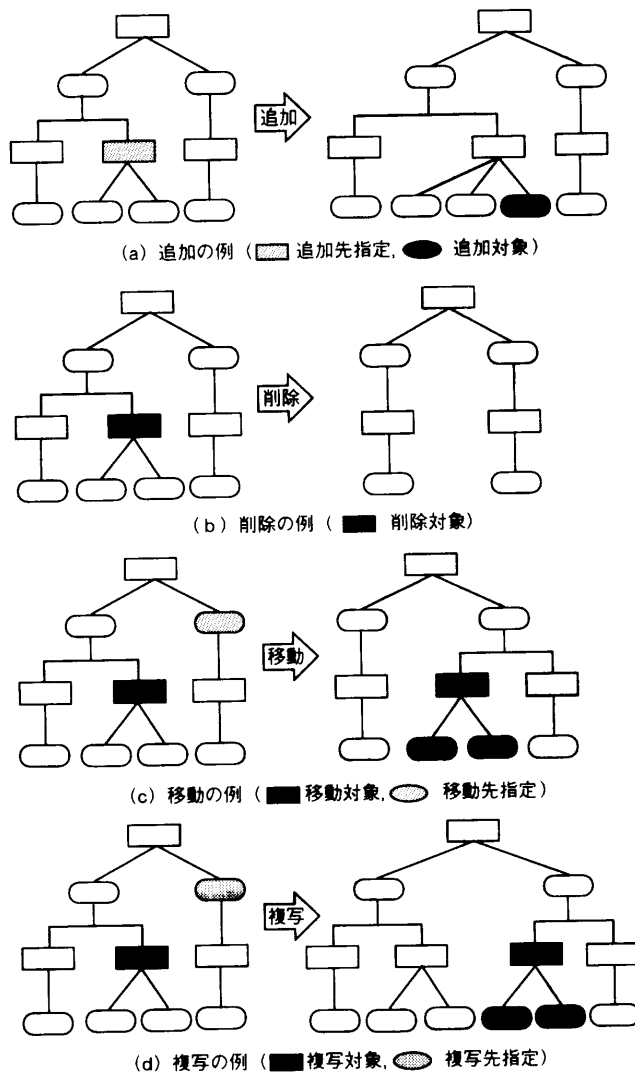


図6 目的戦略ネットの編集操作

Fig. 6 Editing operations for the goal-strategy net.

識の構築や比較・検証の効率化を実現している。さらに、目的や戦略の数が多く、全体が同一画面に同時表示できない場合には、縮小表示や特定の目的・戦略に着目した抽出表示などにより対処している。

目的戦略ネットに対するより一層の編集効率向上および変更ミス回避を図るための操作機能は種々考えられるが、いずれの変更内容も、図6の各機能と訂正機能による変更の組合せに帰着できるため、これらをベースとした派生機能と位置づけられる。

4. 実用システムへの適用と評価

次に、実際に、目的戦略志向協調推論技術をエレベータの保全技術者巡回計画作成システムに適用し、その知識構築・改善において本ツールを使用した一例について、図7の目的戦略ネットの改善例と図8の出

力画面例を用いて述べる。

4.1 具体例における問題点と対策

図7は、本巡回計画作成に必要な知識情報のうち、各保全技術者を一般的な保守現場（エレベータ機に対応）に割り付ける「一般現場割付け」に関する目的戦略ネット（目的・戦略合わせて数百）の一部で、改善前と改善後の双方を示している。本実例では、保守現場に保全技術者を割り付けるという目的に対して、保全技術者の保守現場間の移動効率を考慮しつつ、保守現場ごとに定められている保守間隔を守ることを優先にした戦略で推論を行い、その割付け結果の一部を図8の作業割付け計画出力画面例に示している。この画面では、横方向に保守日を、縦方向に保全技術者名を表示し、各技術者の保守日ごとの保守担当現場名を各枠内に示している。また、画面左部の領域には、推論では割付けできずに残った場合の未割付けの保守現場名を表示している。

図7(a)は改善前の目的戦略ネットでは、まず、保守現場および保全技術者の保守可能日を考慮して、保全技術者ごとに担当する保守現場を割り付け（目的dの「現場割付け」）、その後、割付け後の調整を行う（目的eの「割付け後調整」）ことを示している。この目的eの「割付け後調整」では、まず、下位目的gの「割付け少数日解消」によって、割付け現場の数が少なく作業効率の悪い日どうしの割付け現場をいずれか一方の日に併合して、図8中の空白欄に示すようなまったく割付けのない日を確認し、その後、このまったく割付けのない日を利用して、割付け数平均化と保守間隔均等化の調整を行う戦略を表している。そして、推論実行後、保守計画作成担当者は推論結果による作業計画案に基づき、確認および手直しをすることとなる。図8の出力画面例では、まったく割付けのない日が最終的に残ったにもかかわらず、保守現場や保全技術者に対する種々の制約条件のために未割付け現場が生じた場合の例を示している。

ところで、図7(a)の知識情報に基づいて推論作成した割付け計画案では、未割付け現場の数が多く、このために、保守計画作成担当者がこの作業計画案に対して、確認や手直しがしづらいという問題があった。そこで、図7(b)に示すように知識情報を改善し、目的Dの「現場割付け」後、目的Gの「割付け少数日解消」によって、割付け数の少ない日どうしの割付け併合を行い、再度、目的D'の「現場再割付け」を行って、未割付け現場の数を減らすとともに、目的Eの「割付け後調整」において、保守間隔遵守を優先する戦略をとることとした。その結果、実用ケースではい

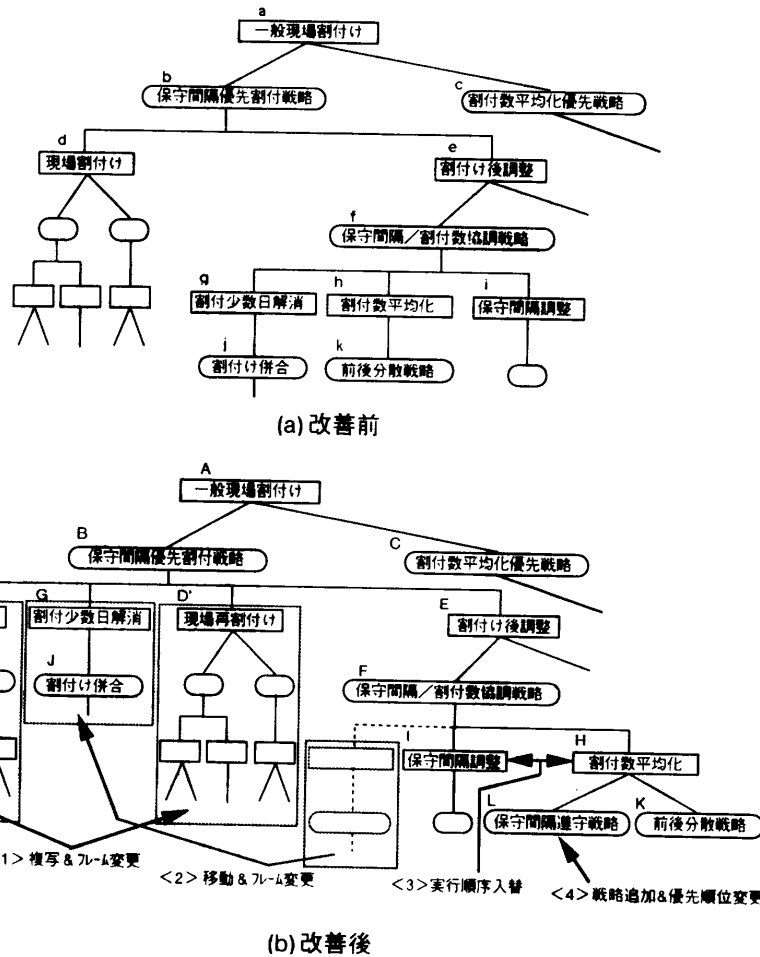


図7 目的戦略知識の改善例
Fig. 7 An example of improving the goal-strategy net.

| 未割付け現場 | | 20(日) | 21(月) | 22(火) |
|--|------|------------------------------------|---|---|
| 佐賀ビル 福岡ビル 大分ビル1号機 大分ビル2号機 宮崎ビル | 山田一郎 | 休日 | 熊本ビル1号機 熊本ビル2号機 長崎ビル1号機 長崎ビル2号機 長崎ビル3号機 | 有給休暇 |
| | 佐藤二郎 | 休日 | 長島ビル 落合ビル 松井ビル1号機 松井ビル2号機 | |
| | 鈴木三郎 | 野村ビル1号機 野村ビル2号機 池山ビル 古田ビル | 代休 | Aビル-1号機 Aビル-2号機 Aビル-3号機 Aビル-4号機 Aビル-5号機 |

図8 作業割付け計画出力画面例
Fig. 8 An example of workplan.

ずれも、未割付け現場の数がなくなり、推論結果による作成計画案に対する確認やそれをベースとした手直しもやりやすくなったという保守計画作成担当者の評価を得るに至った。

4.2 知識構築支援ツールの適用結果

上記対策の実現のために、図5および図6で示した知識構築支援ツールの各編集機能を使用し、図7(b)の<1>から<4>に示すように、目的戦略知識の部分的な移動・複写とフレーム情報の変更、および、目的間の実行順序変更や、新規戦略の追加と優先順位変更を行って知識を再構築した。この目的戦略知識の改善は、1回の修正によって可能になったわけではなく、目的や戦略の位置の変更や目的・戦略フレームの変更などをともなった検討・修正・テストを繰り返して行った結果であり、本ツールの使用により、修正・確認が効率的に行えたため、短期間で多数回の試行が可能となった。具体的には、従来、ツールを用いない場合には、2週間で検討・修正・テストを実質3回程度しか繰り返せなかったのが、ツール使用により、1週間で10回程度繰り返すことが可能となり、この数値例では、6~7倍程度の開発効率の向上が図られた。

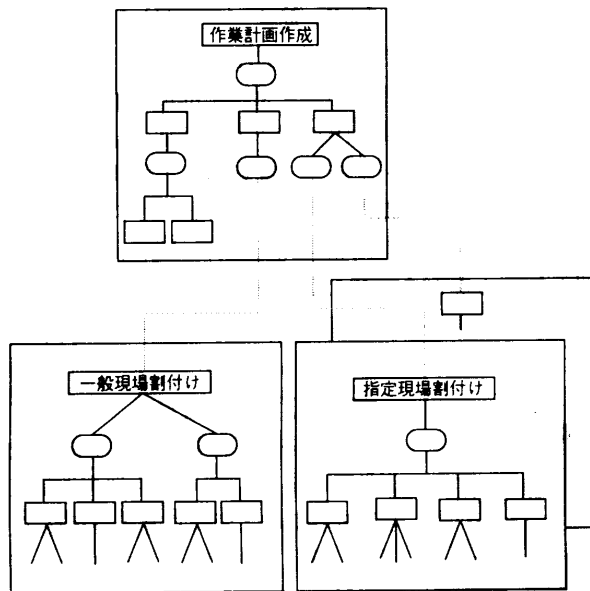


図9 目的戦略ネットの分割例

Fig.9 An example of integration by sub goal-strategy nets.

4.3 適用効果

知識構築支援ツール使用による効果は次のとおりである。

(1) 知識構築の効率と信頼性の向上

(a) 目的戦略ネットの修正操作がビジュアルに行え、目的や戦略などの修正対象の把握および修正結果の確認が容易となるため、修正箇所や修正方法の誤りによる操作ミスがなくなり、知識構築作業の効率向上が可能となる。

(b) 目的を上位から下位へ分割・展開した各目的に対して、独立した戦略や達成手段の記述が可能のため、目的戦略ネットや目的・戦略フレームの変更を行っても、変更による影響範囲の把握が可能であり、また、関連する箇所は自動的に変更されるため、知識構築・改善上の信頼性が向上する。

(2) システムの保守性の向上

(a) 目的戦略ネットおよび目的・戦略フレーム情報の表示内容は、そのまま現状の知識の設定内容を表現しており、このため、ドキュメントの作成・訂正の必要もなく、また、ドキュメント・メンテナンス上のミスも避けられるため、システムの保守性が向上する。

(b) 図7に示す目的戦略ネットは4.1節で述べたように、全体の中のサブネットであり、本支援ツールにより、図9に示すような目的戦略ネット間のリンクを踏まえた管理が可能である。このため、システム全体の各サブネットへの分割やサブネット間の統合を通して、複雑・大規模なシステムに対する知識の構築お

よび保守管理の容易化が図れる。

5. おわりに

本稿では、目的戦略志向協調推論技術と、その知識構築支援方式について述べ、次いで、それを実際のシステムに適用した結果に基づいた評価を行い、実用レベルの規模と複雑さを持ったシステムへの適用が可能であることを確認した。

今後、複雑・大規模なシステムにおいて、本稿で扱ったような知識情報処理に対するニーズはますます高まると予想され、本技術の適用先の拡大を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 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).
- 2) 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).
- 3) 江口ほか：目的志向協調推論型運転整理 AI システムの開発，第46回情報処理学会全国大会論文集，2-89 (1993).
- 4) 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，2-87 (1991).
- 5) Doyle, J.: A Truth Maintenance System, *Artificial Intelligence*, Vol.12, No.3, pp.231-272 (1979).
- 6) Miyashita, K.: Capturing Scheduling Knowledge from Repair Experiences, *Int. J. Human-Computer Studies*, Vol.41, No.5, pp.751-773 (1994).
- 7) Stout, J.: Toward Automating Recognition of Differing Problem-Solving Demands, *Int. J. Man-Machine Studies*, Vol.29, No.5, pp.599-611 (1988).
- 8) McDermott, J.: A Rule-based Configurer of Computer Systems, *Artificial Intelligence*, Vol.19, No.1, pp.39-88 (1982).
- 9) 小林ほか：計画問題と人工知能，人工知能学会誌，Vol.7, No.6, pp.965-969 (1992).
- 10) 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).
- 11) 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).
- 12) 湯上：仮説推論，人工知能学会誌，Vol.8, No.4, pp.399-403 (1993).
- 13) Chandrasekaran, B.: Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning: High-Level Building Blocks for Expert System Design, *IEEE Ex-*

pert, Vol.1, No.3, pp.23-30 (1986).

(平成7年12月28日受付)

(平成8年7月4日採録)



石田 秀昭 (正会員)

1974年3月神戸大学大学院工学研究科修士課程計測工学専攻修了。同年4月(株)日立製作所入社。現在、同社システム開発研究所において、計画問題などを対象に知識情報処理の研究に従事。



西島 英児 (正会員)

1968年生。1986年3月徳島県立徳島工業高等学校情報技術科卒業。同年(株)日立製作所入社。1989年日立京浜工業専門学院情報工学科入学。1990年同学科卒業。翌年、同研究科卒業。現在、自律分散システムの研究・開発、分散システムにおけるソフトウェア保守支援技術の研究・開発に従事。電気学会会員。



鶴田 節夫 (正会員)

1947年3月25日生。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・管制システムなど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。



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)日立ビルシステムサービス入社。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ルシステム、保全用携帯端末装置などの開発に従事。



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)日立エレベーターサービス入社。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、社名変更後の(株)日立ビルシステムサービスで、徹底したペーパーレスによる保全業務の革新をねらい、CSSと携帯コンピュータを連携した計画・実行・フォローによるエレベータ保全トータルシステムを開発推進中。