

## 知識工学と数理計画を融合した

## 作業スケジュール方式

3G-2

\*栗原 謙三      \*\*\*原 敬市      \*小林 隆      \*\*汐見 龍徳  
 \*日立製作所システム開発研究所      \*\*同大森ソフトウェア工場      \*\*\*日立マイクロコンピュータエンジニアリング

## 1 まえがき

従来、計画業務の計算機システム化では、計画問題を数理計画問題に定式化するアプローチがとられている。しかし、このアプローチでは、計画条件変化への柔軟性が得られず、失敗に終わることも多かった。最近、知識工学技術の発展に伴って、計画業務の計算機システム化に再挑戦する動きが出てきたり。しかし、IF THEN ルールだけでは、組合せの爆発に対応できない。

条件変更に対する柔軟性を確保し、計画の最適化も実現するために、知識工学手法と数理計画手法とを併用してスケジューリング問題を解くことが有効である。本論文では、両手法を融合したスケジューリング方式を提案する。

## 2 作業スケジュール問題

作業スケジュールとは、『複数の資源(人、機械など)に対して、処理させるべき複数の作業を決定する問題』である。このとき、処理能力、割付け規則など多数の制約条件を満たす必要がある。また、これらの制約条件は、それ自体が時々変更されることが多い。

スケジュール問題を定式化できれば、数理計画手法で解ける。しかし、実際のスケジュール問題では、スケジュール条件の事前決定が困難であり、問題自体も周囲の環境と共に変化する。そのため、従来のように固い数理計画アプローチだけによる解決は困難である。また、スケジュール問題は各種条件を満たす膨大な順列組合せ問題であり、シミュレーションによって試行錯誤を繰り返しても適切な解を得られる保証はない。

## 3. 作業スケジュール方式

## 3.1 基本的な考え方

知識工学アプローチは問題の定式化が困難な場合に有効である。作業スケジュール問題も、スケジュール条件が定式化できないという意味で、この種の問題の範疇である。

(1) 狭義のエキスパートシステムによる解決の限界: エキスパートの知識をIF THEN 形式で記述する。そして、三段論法型の推論により条件が与えられたときの結論を導く。この方法の利点は、①構成が単純、②保守性が高い、③プロトタイプ開発の迅速化、等にある。しかし、欠点として、①処理時間が遅い、②解の質にムラがある。そのため、スケジュール問題のような組合せ問題を狭義のエキスパート

システムだけで解決するには性能上問題があり、このアプローチだけで出来る範囲は狭い。

(2) 知識とアルゴリズムを融合したシステム: スケジューラが割付けを実施する際、基本的には時間軸に沿って順次割付ける。ただし、常に先を見て特殊な状況にある資源や作業に着目して、それらを先に割付ける。すなわち、『現状の割付状況から部分問題を抽出し、それを解く』ことを繰返して割付けを進める。本論文では、このようなノウハウを活用して、知識工学と数理計画を融合させたスケジューリング方式を提案する。知識工学手法により保守性を確保し、数理計画手法により解の最適化と高速化を実現する。

## 3.2 スケジュール方式

(1) 割付手順 一つの資源には高々一つの作業しか割付けられないように、割付け期間を『サブ期間』に分割する。このサブ期間ごとに数理計画手法で作業割付けを実行する。各サブ期間の作業割付けを実施後、先の期間を見て、割付けが難しいと思われる部分は、それを部分問題として抽出し解く。この部分問題の抽出とその解法の選択はスケジューラのノウハウであり、これらを知識工学手法で実現する。以上のように、『①割付け状況の認識、②戦略立案、③割付け実行』のサイクルを繰返し、最適割付けを進める。

(2) 割付けノウハウの分類とその表現法 割付け状況の認識には、制約条件を利用する。制約条件はフレームで表現する。戦略ノウハウは、割付け戦略(割付けるべき資源/作業の範囲と実行アルゴリズムの決定)の立案知識であり、IF THEN ルールで表現する。IF側に割付け状況の特徴量を、THEN側にその時に取る戦略を示す。また、戦術ノウハウは、割付けの質の判断知識である。環境条件の変化に伴う、質を判断するための各項目の重要度の変化をウェイトで数値表現する。

(3) 期間着目アルゴリズム 提案方式では、割付問題を部分問題に分割して順次求解する。従って、部分問題の境界部分の条件を考慮しないと、既割付部のやり直しが多発し、部分問題の最適解を求める意味がない。割付けの基本となる期間着目アルゴリズムでは、次により解決する。

(a) 割付け期間の最適化: 各資源に各作業を割付けることの良いさを総合評価し、評価点の合計が最大となる組合せを探索する。これは割当て問題として定式化する<sup>2)</sup>。

(b) 最適割付けの破壊防止: 割付け期間に隣接する期間(保証期間)に実行すべき全作業に対して資源を確保しておく。割付け期間に開始する作業は殆どが保証期間に足を伸ばしており、保証期間の割付け資源を確保しておかないと割付けのやり直しが多発する。さらに先の期間(残能力評価期

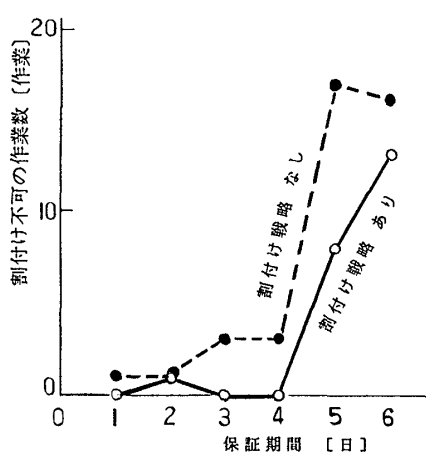


図1 割付け戦略の効果

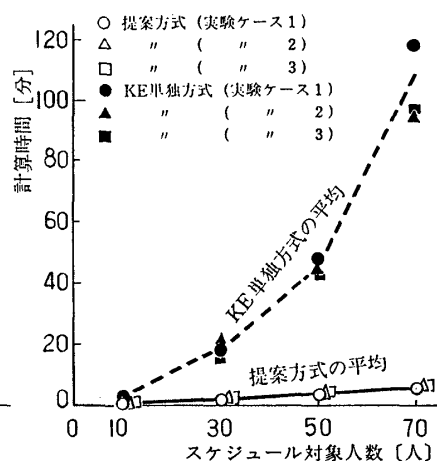


図2 計算時間

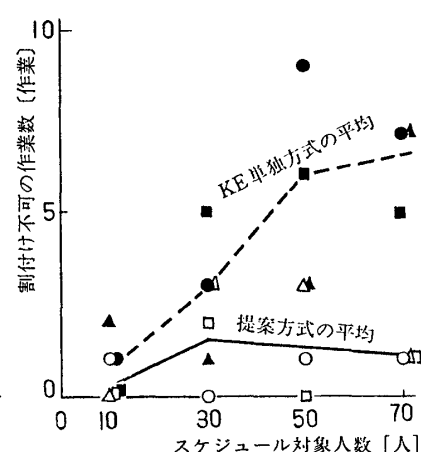


図3 割付け不可の作業数

間)では、そこで処理できなくなる作業数を最小化する。

なお、作業着目/資源着目アルゴリズム等も用意する。これらは期間着目アルゴリズムと基本的には同じであるが、割付け対象とする資源や作業の範囲が異なる。

#### 4. 提案方式の特性に関する検討

##### 4.1 検討対象モデル

トラック、航空機等、運行スケジュールが決まっており、運転手の割付けを計画する場合を一般化したモデルを対象として、提案方式の特性を検討する。数日間に渡る作業に対して一ヵ月間のスケジュールを立案する。このとき、作業員には、各作業ごとに幾つかの資格が必要である。また、スケジュール結果の質は、割付け不可作業の低減、作業時間の平均化、同種作業の繰返し回避、で評価する。

本モデルは、提案方式の特性を検討するために設定したものであり、基本構造だけからなる簡略モデルとした。従って、割付け戦略も簡略化し、三戦略(①作業着目戦略、②作業員着目戦略、③期間着目戦略)に限定した。例えば、戦略①は次のように記述する。

IF 処理可能作業員数  $\leq [M_i]$  の作業がある、

THEN 対象=[該作業群], アルゴリズム=[作業着目] を実行。

##### 4.2 割付け戦略の効果

前記の三戦略を使わない場合(期間着目アルゴリズムだけで割付けを実施)と使った場合とで、割付けできなかった作業の数を調べた(図1)。戦略の活用によって、割付けできない作業の数を低減でき、しかも、保証期間の広い範囲に渡って良い解が得られた。

##### 4.3 知識工学単独方式との比較評価

知識工学手法だけによる典型的な割付け方式と比較し、提案方式の特性を評価する。知識工学手法だけによる方式では次のノウハウを用いた。『①日付順の割付けとし、同

一日の作業は処理可能作業員が少ないものを優先。②その作業を割付けることにより同種作業の繰返しにならない作業員を優先。複数いれば、総作業時間の少ない者を選択。③割付け不可作業が発生したらバックトラック。すなわち、その作業の処理資格を持つ作業員のうち、処理可能作業員が最も多い人の既割付け作業を取消す。』

(1) 計算時間 知識工学単独方式は一作業ずつ割付けるため、バックトラックが多発する。そのため、計算時間が長く、しかも、バックトラックの発生状況により計算時間は変動する。一方、提案方式では、数理計画手法により複数作業を同時に最適に割付ける。そのため、バックトラックの発生は少なく、高速かつ問題規模に応じた一定時間でスケジュールを実行できる(図2)。

(2) スケジュール結果の質 知識工学単独方式では、問題規模の増大に伴い解探索範囲が相対的に狭くなり、割付け不可作業が増加する。一方、提案方式では、問題規模によらず割付け不可作業を低減できた(図3)。

作業時間の平均化と同種作業の繰返し回避に関しては両方式の間に顕著な差は見られない。ただし、知識工学単独方式では、作業の割付けを控えて作業時間の平均化と同種作業の繰返し回避を図っている。

##### 5. おわりに

環境変化に対する柔軟性と最適スケジュール作成の高速処理を狙いとして、知識工学と数理計画を融合した作業割付け方式を提案した。さらに、提案方式の特性を評価し、狙い通りの効果があることを確認した。

##### < 参考文献 >

- 1) G. Bruno, et. al.: 'A Rule-Based System to Schedule Production', IEEE Computer, July 1986
- 2) 関根: 線型計画法入門, 日本生産性本部 (1966)