

エキスパートシステムを用いた 生産スケジューリング

入澤 直樹*, 浜崎 孝志, 山中 止志郎

われわれは多くの計画型のエキスパートシステム（以下ESと略）にかかわってきた[1][2][3]. その領域は、公共機関、流通、製造、交通運輸など広範囲にわたり、その中から各領域にはそれぞれ典型的な問題のパターンがある可能性が示唆された。計画型ESはスケジューリング、設計、配置などに分けられるが、ここでは特に計画型ESの分類とスケジューリングESについての一般的な問題点と解法を述べる。

1. 計画型ESの分類

われわれは計画型ESを6つのタイプ、すなわち作業時間割、配送、工程設計、生産計画、交通機関のダイヤ編成、配置、に大きく分類することを試みた(表1)[2][3]. これはあくまで今までに観察されたESを母集団とした分類であり、当然これ以外の型があると思われる。またこれはアプリケーションの型、いいかえると市場の側からみた分類であり、解決法や問題構造の類似性からみた分類ではない。以下に各型の説明を行なうが、特に生産スケジューリングについて詳しく述べる。言葉の使い方として、スケジューリングは作業を資源X時間の平面上に配置することであるとす。

1.1 時間割 (図1, 2)

この型には交通機関の乗務員のスケジュール、店員や作業員のスケジュール、学校の時間割などがある。

いりさわ なおき 日立東北ソフトウェア(株)

はまざき たかし, やまなか としろう (株)日立製作所 情報システム工場

* 〒980 仙台市青葉区一番町2-4-1 興和ビル

作業に対応するものは便名や科目名や作業名であり、資源に対応するのは主として人である。したがって（日本では）非常に融通のきく点がこの型の特徴である。一般的に時間軸が連続ではなくコマごとに区切られていて、その単位で時間が進行する。

1.2 配送計画 (図3)

この型には、製造業や流通業の原材料や製品の配送スケジュールがある。資源に対応するのはトラックや船などの輸送機械であり、作業に対応するのは指定時間（までに指定荷物を指定先に届けることである。したがって、どのように荷を積み合わせるかという荷積みの問題と、どのようなルートで回ったらよいかという2つの問題がからみ合って生ずる。生産計画にたとえていえば、

表1 計画問題の分類

内容	Job	Resource	Time	特徴 (Dを基準にした場合)
作業計画	作業—作業種別	作業者 連続的	原則として	•Resourceが人である ↓ Soft constraintsが多い
時間割 作成	作業—教科	作業者—教師 (教室)	離散的 (コマ単位)	•Aとはほぼ同じだが 教室を考慮 時間はコマ単位
配送計画	作業—積荷 配送先 仕入元	乗物	それほど きつくない (順序程度)	•Jobに配送先, 仕入元 情報がある ↓ ルーティング 問題発生 •時間はそれほどきつくない
工程設計	作業—工程	装置—主装置 副装置	なし	•時間の概念がない
離散的 生産計画	作業—製品種別 (原料)	装置—主装置 副装置	原則として 連続的	
連続的 生産計画				
ダイヤ 作成	乗物 始発 終着	駅(線路)	連続的	•時間の扱いが厳しい (連続的)

1つの万能設備（輸送機械）に多種類の原材料（荷）をつぎ込んでその日のうちに順次異なる製品を作る（荷の配達）ことに相当する。荷積みの問題には輸送機械の容積や重量の制限、同一の輸送機械に積み合わせることができるかどうかの制約、などがあり、ルーティング問題には配達指定期日の制約、配達時間（コスト）最小化という目的、などがある。

1.3 工程設計（図4）

製品が多数の部品により構成される場合、この製品をいかなる順序で構成部品をつくりながら組み立ててゆくかという工程の順序と組立を決定する問題である。金型の製造のように毎回新しい製品の制作をしなければならない場合にみられる。いかなる部品を使うかは、製品によってさらには部品の在庫料によってある程度限定はされるが、自由度はなくなるので、最適化の余地がある。この問題は工程の順序と結合関係を定めるだけで、設備上に工程をスケジュールするものではないので、時間や資源の容量は考えない。

1.4 生産計画（図5）

作業に対応するのは材料に処理をほどこす工程であり、資源は処理を行なう設備である。これはさらに離散的な型と連続的な型に分れると思われる。

1.4.1 離散的な生産計画（図6）

製品が主として個体でカウントできる場合であり、もっとも典型的にみられる型である。

1.4.2 連続的な生産計画（図7）

製品が主として流体であり、たとえば化学プラントの釜のようにある設備である製品をつくってから、いったんその設備を洗うことなく前の製品と性質が似た他の製品をすぐに生産するような場合である。当然作

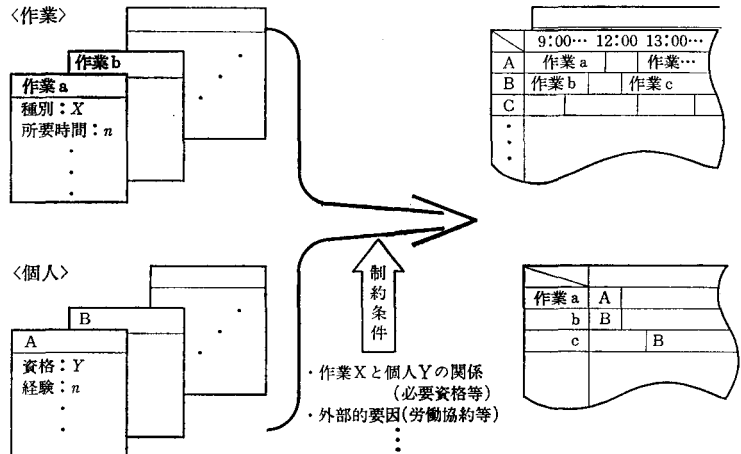


図1 作業計画

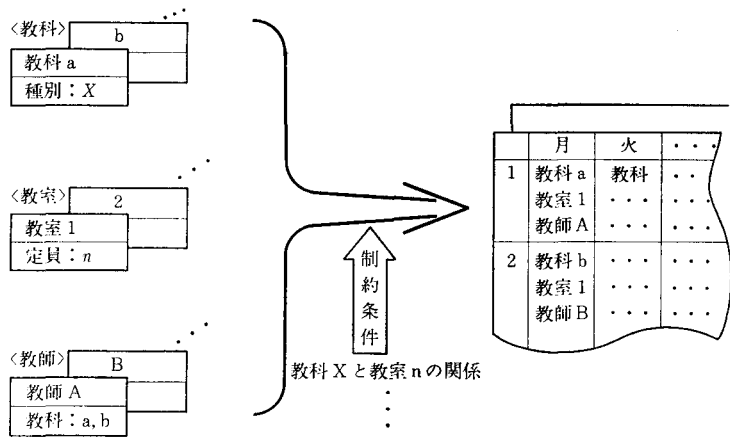


図2 時間割作成

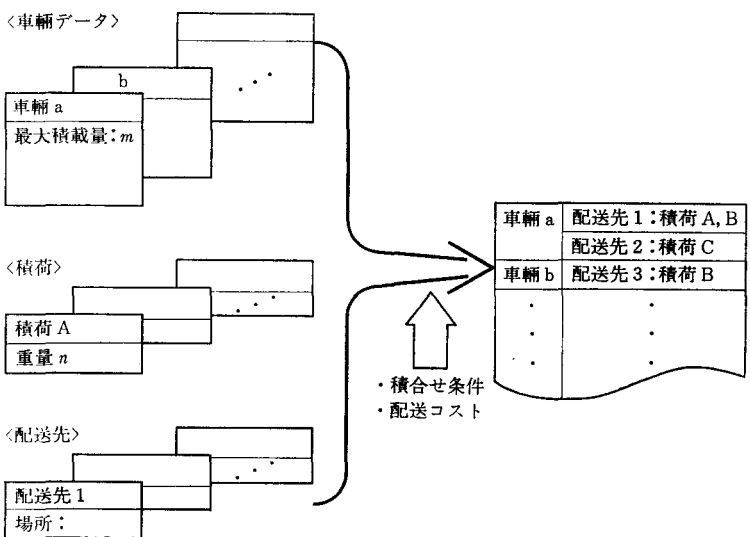


図3 配送計画

る製品が切り替わった直後は前後の製品が混ざりあっているのですが、製品の質が悪化するが、前後の製品を性質の近いものにすることができればこういう悪影響を最小限に止めることができるし、また設備の洗浄は非常に高いコストがかかるので、そうせざるを得ない。

1.5 ダイヤ作成

列車のダイヤ作成のように人間でも非常に熟練を要する問題で、スケジューリング問題の中ではもっとも難しくなりうる要素を持っている。

1.6 配置

建物のフロアの分割やフロア上への物の配置、容器にできるだけ物を詰め込みさらに効率よく取り出せるようにする問題、板どり問題などがある。分割問題や詰め込み問題は全資源の量とそれの割り当てたい要求の総量との比が100%(あるいはそれをめざす)であり最適化をめざせば組み合わせ爆発に必ず直面する。

2. 生産計画

生産計画は一口に言えば、資源(設備)に作業(生産作業や保守作業)を種々の制約を満たし、かつスケジュールの種々の側面からの評価値を最大/最小にすることである。制約や評価基準がトレードオフの関係にある場合は最適な値になるようにしなければならない[6][7]。

2.1 制約

制約は固定的なものではなく、時や環境の変化につれて変わるものである。

2.1.1 硬い制約

必ず守らなければならない制約である。製品とそれを処理できる資源(設備、人、治工具)との関係や、注文の納期、中間仕掛品の置き場の容量や置いておく時間の制限、ラインの永続的不停止、特定の設備を操作できる

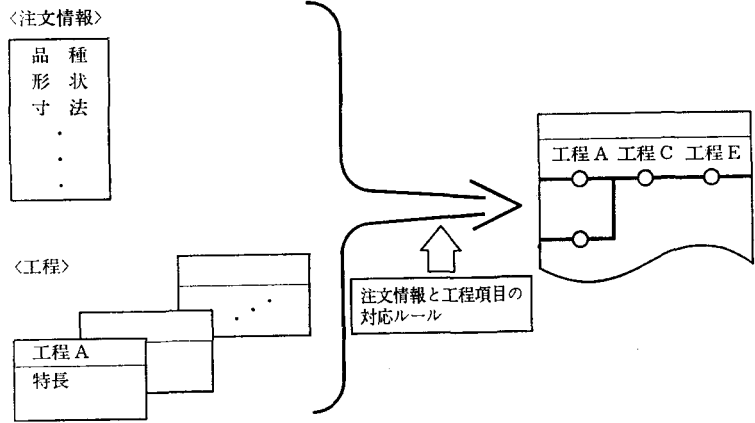


図 4 工程設計

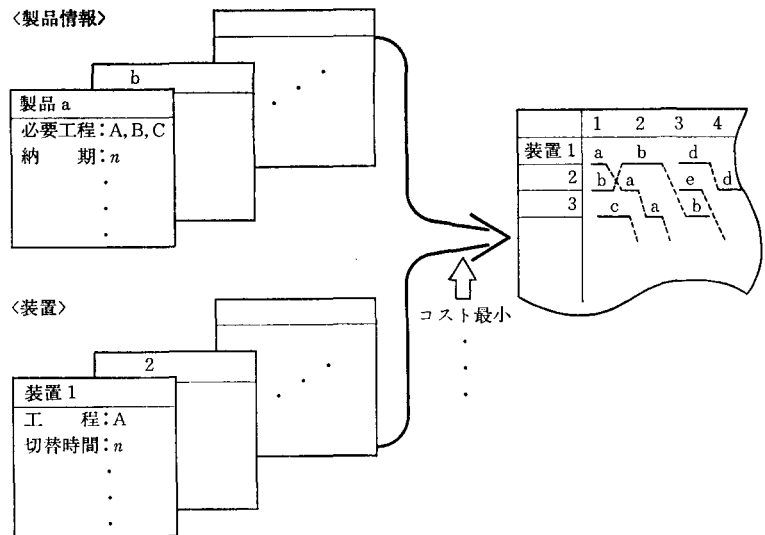


図 5 生産計画スケジューリング

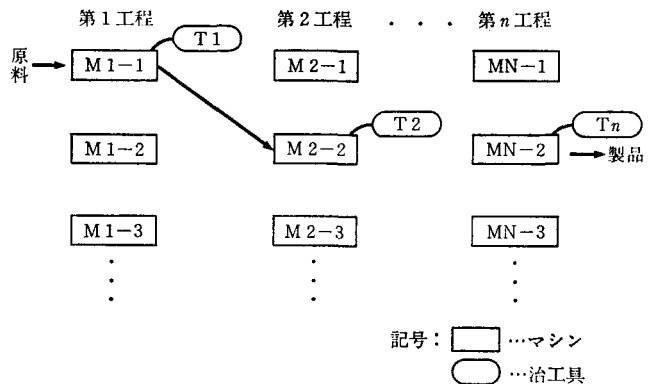


図 6 分散型生産計画スケジューリング
製品種別毎に、製品工程、各工程で利用可能な装置および必要治工具が定義されている。

人の数の制限, 原材料の到着日, 1日あたりの原材料使用量の制限, 1日あたりの同一製品生産量の制限, 設備の保守作業の日程, 設備の稼働日の日程, などがある。硬い制約には最適値(目標値)と許容範囲があり, 許容範囲の中では最適値に近い方がよい(つまり軟らかい制約が生きている)。

2.1.2 軟らかい制約

守らないと実行が不可能というわけではないが, できるだけ守ってほしい制約である。注文の納期, 同時段取り替え多発の禁止, 1日/1月あたりの残業時間の制限, などがある。軟らかい制約には最適値(目標値)がある。稼働率の向上や平準化は軟らかい制約の一種と考えることもできるが, ここでは評価基準の方に分類しておく。

2.1.3 グローバルな制約(全体目標)

スケジュールが全部終了してみないと評価できないような制約で, 実際には制約というよりは全体目標といった方が適している。納期遅れの件数を何件以下にするというようなものである。

2.1.4 ローカルな制約

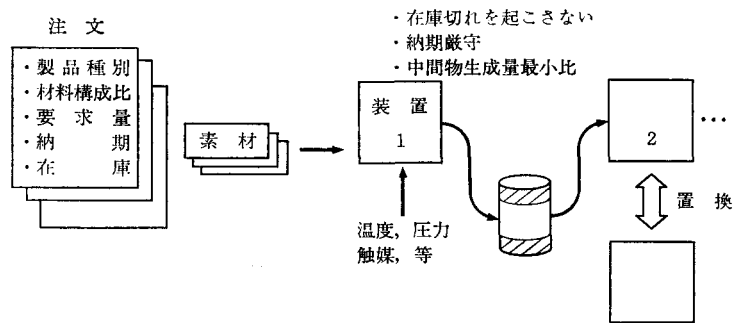
スケジュールの途中でもその抵触が確認できる制約。1日あたりの同一原料の最大消費料などである。

2.2 評価基準と全体的な目標尺度

評価基準(つまり, 良いスケジュールとはなにか)を的確にとらえることは難しい。それは各制約を満たしている度合いと, 全体的な目標尺度(稼働率の向上や平準化など)の達成度との兼ね合いで決まり, さらに専門家の間でもまた同一の専門家の中でもある程度変動するものであり, 確立した明白な基準は存在しない。これがスケジューリングのコンピュータ化を難しくしている条件の1つである。制約の不満足度や全体的な目標尺度のコスト関数が存在すればいいのだが, 現実にはいくつかのスケジュールを生成して試みながらそれを推測していく方法がない。

2.2.1 各制約の重み

硬い制約が軟らかい制約より重要なのは当然だが, 硬い制約同士でも大まかな制約対制約の重要度の違いしか定義できない。つまり制約Aと制約Bとではだいたい制約Aの方が重要だとはいっても, 制約Aが値aぶんだけ最適値からずれているのと制約Bが値bぶんだけ最適値



- 構成の近い製品を連続して生産する。(急激な変化は, 避ける)
- 生産量は, 製品種別により異なる。
- 製品の構成比の許容限度がある。
- 圧力, 温度, 触媒等により製品種別は異なる。
- ロット分割ある。
- 製品種別が大きく異なる場合, タンク洗いが発生する。
- 装置の置換が必要になる製品種別がある。又その場合丸1日かかる
- 中間タンクは, 許容最大/小限度がある。

図7 連続型生産計画スケジューリング

からずれているのと, どちらが辛いのかはそういう場面に直面しないと判断できないことが多い。

2.2.2 全体的な目標尺度

全体的な目標尺度には, 稼働率の向上, 設備使用の平準化, 製作時間の短縮, 低コスト資源の使用率の向上, 段取り替え時間の短縮化, 負荷状況にあった設備の休止, 残業の低下, などがある。これらは一種のグローバルな軟らかい制約と考えることができる。

3. 生産計画ES

3.1 スケジューリングESの特色

現実この種の問題においてはどのようなスケジュールを出力することが最良なのか誰も定義できない。少なくとも, トレードオフの関係にある制約や目的尺度間のバランスを定量的に厳密に述べることは, 現場の人間でも生産管理の人間でも非常に難しい。このような目標ははっきりしない問題に対して, ESでは人間的なボトムアップのプロトタイプ的な解決法を採用することにより, 人間になじみやすい解決策を提供している。

現場のスケジューリングのやりかたには大枠となる手順の部分とその枠組みに詰め込まれて使われる枝葉の手順があるように思われる。大枠の手順の種類はそれほど多くないが, 枝葉の手順は数も多く現場によって使われるものもまちまちであり, また現場環境の変化に伴って変わることが多いようである。ESはシステムの固定部

分と可変部分とを分けて保守性や拡張性の増大を狙うものであり、枝葉の部分をルールで記述することはこの意味で理に適っている。

3.2 一般的割付ロジック (多工程型)

生産計画システムは以下のような手順で割付を行なうものが一般的なもの1つと思われる。1から3までは大日程計画に対応し、4以降は小日程計画に対応する。

[1:注文マージ] 同一製品タイプで納期の近い注文をマージして一緒に作るようにする。

[2:ロット分割] 各注文の各工程における並列処理マシン台数を、納期を守り工程間の処理速度のバランスがとれるように決める。

[3:負荷計算] 設備群毎に各注文の納期や制作数や材料到着日などをもとに負荷率の計算をする。工程間の半製品バッファ量の制約を考慮して最早開始時間や最遅終了時間や余裕を求め納期が守れるかどうかチェックする。

[4:割り付け戦略の選定] 状況に応じて資源と作業のどちらに先に注目する方法を採るか、あるいは資源X作業X時間の組合せ全体を対象にする方法を採るか、また方向について forward/backward/island/mixed のどの方法を採るのかを決める。たとえば、if (選択の自由度のごく少ない部分がある) → それをスケジュールしてしまう。else if (負荷率の高い設備群 or 工程がある) or (設備の稼働率を高める要求が高い) → その工程用または設備群のスケジュールを時間的に前詰めで行なう。else → それ以外の作業のスケジュールを時間的に後詰め (ジャストインタイムを重視) で行なう。

[5:割り付け候補の洗い出し] 設備の機能などを考慮して行なう。

[6:硬い制約によるフィルター] その候補中で、硬い制約に抵触するものをフィルターアウトする。

[7:柔らかい制約によるフィルター] 残った候補の中から柔らかい制約や全体目標測度やスケジュールのヒューリスティクスなどの観点から評価して一番良い候補を選び割り当てる。

[8:割り付け] を行なう。うまくゆかない時は知的なバックトラックをする。

[9:割り付けの影響の伝播波及] 前詰めか後詰めかによって割り当てられた作業の後ろ(前)工程への影響を波及的に計算する。

[10:] 4へゆく。

[11:評価] 全ての作業が割り当てられたら、評価をす

る。

3.3 ルールの性質が生かしやすい所

スケジューリングは非常に多くの判断プロセスが連続して達成されるものであるため断片プロセスだけを記述してそれらの制御はすべて推論エンジンにまかせてしまうというプロダクションシステムの基本セオリーではとうていカバーできない[4][5]。しかしながらいくつかの部分ではその特性を生かせると思われる。たとえば、4, 6, 7, 11などのステップである。やり方が不確定で可変性の高い部分的手続きの候補が複数並存している部分を切り出せる所ではないかと思われる。

現状の計画型ESを概観し、時間割り、配送、工程設計、作業計画、配置、ダイヤ編成の6つに分類できることを示した。生産計画の問題点を分析し、結果の評価基準の不明確さから、ES的なプロトタイプングアプローチが適していることを具体的に示した。最後に計画型の問題の中でも典型的な多工程の生産計画問題に適用可能なアルゴリズムを提示し、システムのどの部分にルールを生かすべきかについて実証した。

引用文献

- [1] 小六正修, 山中止志郎, 吉村紀久雄, 田村智一 “AI実用化の動向と日立製作所の取り組み” 日立評論 (1990) Vol.72, 1-8
- [2] 浜崎孝志, 亀田達也, 奥出聡, 小六正修, 小塚潔 “計画・スケジューリング型エキスパートシステムへのアプローチ” 日立評論 (1990) Vol.72, 41-46
- [3] 入澤直樹, 浜崎孝志, 山中止志郎 “エキスパート・システムを用いた生産スケジューリング” OR/J IMA合同シンポジウム CIMとその要素技術—現状と課題— (1990) 23-29
- [4] 花岡かほる, 辻洋, 丸岡哲也 “エキスパートシステム構築標準手順” “ESGUIDE” 日立評論(1990) Vol.72, 35-40
- [5] 石崎純夫 (監修) 森文彦, 花岡かほる (著) “エキスパートシステム構築技法入門” オーム社 (1990)
- [6] 橋本文雄 “ジョブ・ショップ・スケジューリング” コンピュートロール (1985) No.11, “CIM” 61-69
- [7] Smith S. F., Fox M. S. and Ow P. S. “Constructing and maintaining Detailed production plans: investigations into the development of knowledge-based factory scheduling systems” AI magazine (1986) Fall 45-61